

TUGAS AKHIR - TM 141585

**SIMULASI DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN UAP
YANG MELEWATI TURBIN VENTILATOR VALVE
MENUJU KONDENSOR YANG MENGENAI
DEFLEKTOR DENGAN PENAMBAHAN SHEET
PROTECTION BERBENTUK SETENGAH
LINGKARAN PLTU TANJUNG JATI B JEPARA**

AGUSTINUS DHEISA ORIZANTO
NRP 2109 100 104

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir.Djatismiko Ichsani, M.Eng

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR- TM141585

**SIMULASI DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN UAP YANG
MELEWATI TURBIN VENTILATOR VALVE MENUJU
KONDENSOR YANG MENGENAI DEFLEKTOR DENGAN
PENAMBAHAN SHEET PROTECTION BERBENTUK
SETENGAH LINGKARAN PLTU TANJUNG JATI B JEPARA**

Agustinus Dheisa Orizanto
NRP. 2109 100 104

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir.Djatmiko Ichsani, M.Eng

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM141585

***NUMERICAL STUDY OF VELOCITY DISTRIBUTION OF
STEAM THROUGH TURBINE VENTILATOR VALVE ON
THE SURFACE OF CONDENSER TUBE WITH ADDITION
OF HALF-ROUND SHAPED SHEET PROTECTION PLTU
TANJUNG JATI JEPARA***

***AGUSTINUS DHEISA ORIZANTO
NRP. 2109 100 104***

Advisor

Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.

***MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Fakulty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016***

**SIMULASI DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN UAP
YANG MELEWATI TURBIN VENTILATOR VALVE
MENUJU KONDENSOR YANG MENGENAI STEAM
DEFLEKTOR DENGAN PENAMBAHAN SHEET
PROTECTION BERBENTUK SETENGAH LINGKARAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

AGUSTINUS DHEISA ORIZANTO

NRP. 2109 100 104

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng (pembimbing)
(NIP. 195310191979031002)
2. Ary Bachtiar K.P., ST, M.Eng, PhD. (Penguji I)
(NIP. 197105241997021001)
3. Bb. Arip Dwiyanoro, ST, Meng, PhD. (Penguji II)
(NIP. 197804012002121001)
4. Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc (Penguji III)
(NIP. 196604021989031002)

SURABAYA

Juli, 2016

**SIMULASI DISTRIBUSI KECEPATAN UAP YANG
MELEWATI TURBIN VENTILATOR VALVE
MENUJU KONDENSOR YANG MENGENAI STEAM
DEFLECTOR DENGAN PENAMBAHAN SHEET
PROTECTION BERBENTUK SETENGAH
LINGKARAN**

Nama : Agustinus Dheisa Orizanto
NRP : 2109 100 104
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani,
M.Eng.

ABSTRAK

Kondensor merupakan alat penukar panas yang dapat digunakan untuk memanfaatkan atau mengambil panas dari suatu fluida untuk dipindahkan ke fluida lain. Jenis kondensor yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B adalah Twin Shell Single Pressure Surface Condenser. Kondensor merupakan salah satu komponen penting dalam siklus Rankine, apabila kondensor tidak berfungsi maka suatu pembangkit listrik tidak dapat beroperasi.

Penelitian dilakukan dengan menganalisis distribusi kecepatan dan temperature uap dari turbin ventilator valve menuju kondensor setelah melalui steam deflector dengan dan tanpa adanya baffle, geometri baffle dan ketinggian baffle. Fluida kerja yang digunakan berupa uap air dengan kecepatan 1374.25 m/s yang dimodelkan sebagai fluida yang mengalir pada suatu pipa kemudian mengenai steam deflector sebelum memasuki kondensor. Studi numerik dilakukan secara 3 (tiga) dimensi dengan kondisi aliran steady, incompressible dan turbulen dengan

prinsip Computational Fluid Dynamic (CFD) menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6 untuk tahapan pembuatan domain dan disimulasikan dalam perangkat lunak FLUENT 6.3.26.

Dari hasil simulasi menggunakan FLUENT 6.3.26 bisa didapatkan karakteristik aliran berupa visualisasi aliran berupa kontur kecepatan, vector kecepatan dan distribusi kecepatan pada permukaan pipa condenser dengan variasi ketinggian sheet protection. Variasi pertama sheet protection terletak di $y = -1$ m, kedua $y = -1.2$ m dan yang ketiga $y = -1.5$ m. Setelah dilakukan simulasi didapatkan kecepatan yang paling tinggi pada permukaan pipa condenser berturut-turut 19 m/s, 17 m/s dan 16 m/s. Dengan kecepatan yang sudah didapat dari simulasi kemudian dilakukan analisis fatigue terhadap ketiga kondisi penelitian. Setelah dilakukan analisis fatigue dengan penambahan sheet protection pada condenser, tube condenser tidak mengalami kerusakan dikarenakan tegangan yang terjadi berada di bawah kurva fatigue limit.

Kata kunci : Kondensor, Steam Deflector, sheet protection.

Numerical Study of Velocity Distribution of Steam Through Turbine Ventilator Valve on The Surface of Condenser Tube with Addition of Half-round Shaped Sheet Protection

Name : Agustinus Dheisa Orizanto
NRP : 2109 100 104
Departement : Mechanical Engineering FTI – ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.

ABSTRACT

The condenser is a heat exchanger that can be used to take heat from a fluid to be transferred to another fluid. Type of condenser used in steam power plant (power plant) Tanjung Jati B is a Twin Shell Single Pressure Surface Condenser. The condenser is one of the important components in the Rankine cycle, if the condenser does not work then a power plant can not operate.

The study was conducted by analyzing the distribution of the velocity and temperature of the steam from turbine ventilator valve to the condenser through steam deflector with and without the protection sheet. The working fluid that is used in the form of water vapor at a speed of 1374.25 m/s which is modeled as a fluid flowing in a pipe then hit steam deflector before entering the condenser. Numerical studies performed as 3 (three) dimensional study with a steady flow conditions and turbulent with the principles of Computational Fluid Dynamics (CFD), used GAMBIT 2.4.6 software to make modelling domain and simulated in FLUENT 6.3.26 software.

From the simulation results can be obtained using FLUENT 3.6.26 flow characteristics such as flow visualization in the form of contour speed, velocity vector and velocity distribution on the pipe surface condenser with a height variation of sheet protection. The first variation of sheet protection is located at $y = -1$ m, the second $y = -1.2$ m and the third $y = -1.5$ m. After the simulation, the highest

speed in the pipe surface condenser in a row 19 m / s, 17 m / s and 16 m / s. With the speed that has been obtained from the simulation and then analyzed of fatigue against the three conditions of the study. After the analysis of fatigue with the addition of sheet protection on the condenser, condenser tube is not damaged due to stress are at a level below the curve fatigue limit.

Keywords : *condenser, steam deflector, sheet protection*

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus karena kasih-Nya yang berlimpah, penulis dapat menyelesaikan laporan dan penelitian tugas akhir ini. Dalam proses pembuatan laporan ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Agustinus Sudaryadi dan Sri Widariyanti atas doa, dukungan, ajaran dan motivasinya selama ini.
2. Saudara penulis, Chindy Maria Orizani dan Franciso Endy Sativa atas motivasi dan doa selama ini.
3. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng atas arahan dan bimbingannya agar tugas akhir ini memiliki nilai kontribusi.
4. Dosen Wali, Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E. atas masukan-masukan selama di perkuliahan.
5. Rekan-rekan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa
6. Saudara/saudari angkatan M52.
7. Para MMC Crew dari saat penulis masih menjabat sampai sekarang.
8. Rekan-rekan Laboratorium Mekanika Benda Padat yang selalu menyegarkan pikiran penulis
9. Rekan-rekan “GURITA” dan “cLenuk”
10. Rekan-rekan “Mahasiswa Santai”
11. Pak Budi Santoso sebagai guru olahraga billiard penulis
12. Kepada rekan-rekan sesama pemain e-sport.
13. Teman-teman pembuat onar di warkop gebang dan keputih
14. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu atas bantuannya kepada penulis dalam menyelesaikan kuliah S1 di Teknik Mesin FTI-ITS.

Penulis menyadari hasil laporan ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mohon kritik dan saran yang membangun demi

kesempurnaan laporan ini. Akhir kata, semoga laporan ini dapat berguna bagi para pembacanya.

Surabaya, Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Dasar Teori	5
2.1.1 Pengertian Kondenser	5
2.1.2 Posisi dan Fungsi TVV	6
2.1.3 Aliran Uap Menuju TVV	7
2.1.4 Steam Deflektor	7
2.1.5 Skematik Arah Aliran Uap dari Deflektor Menuju Tube Pendingin.....	8
2.1.6 Analisa Kecepatan Uap Ketika Mengenai Steam Deflektor	9
2.1.7 Data Tekanan, Temperatur, dan Laju Aliran Massa Uap Air Masuk ke HP 7 Heater.....	9
2.1.8 Data Tekanan Kondensor Pada Sisi Uap	10
2.1.9 Pernyataan Proses Uap Keluar dari TVV Masuk Kedalam Kondensor.....	11
2.1.10 Menghitung Kecepatan Uap dari TVV Masuk Kedalam Kondensor.....	12
2.1.11 Menghitung Kualitas Uap Keluar dari TVV Masuk Kedalam Kondenser	14

2.1.12 Menghitung Laju Aliran Massa Uap Keluar dari TVV Masuk Kedalam Kondensor	14
2.2 Penelitian Terdahulu	16
2.2.1 Ashwini K. Sinha(2010)	16
2.3 Pemodelan FLUENT.....	17
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	
3.1 Tahapan Penelitian	19
3.2 Flowchart Penelitian.....	19
3.3 Tahapan Pemodelan dan Simulasi.....	20
3.3.1 <i>Pre-Processing</i>	20
3.3.2 <i>Processing</i>	23
3.3.3 <i>Post-Processing</i>	24
3.4 Pengolahan Data.....	24
3.5 Hasil dari Pemodelan Awal.....	24
3.5.1 Vektor Kecepatan pada Plane Searah tube dengan $x = 0.852$ m (bidang y,z)	25
3.5.2 Kontur Kecepatan pada Permukaan Tumpukan Tube Paling Atas pada $y = -1.7$ m (bidang x,z).....	26
3.5.3 Variasi Kecepatan pada Sumbu x untuk $y = -1.7$ m, dan $z = 0$ m.....	27
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Sumbu Referensi	29
4.2 Analisa Kebocoran Tube	30
4.2.1 Data Material Pipa	30
4.2.2 Data Operasional	30
4.2.3 Perhitungan Perlambatan, Waktu Tumbukan dan Jumlah Tumbukan	31
4.2.4 Fatigue	32
4.3 Posisi Pipa TVV Terhadap Pipa Kondensor	33
4.4 Analisa Kontur, Vektor, dan Variasi Kecepatan Steam Setelah Dipasang Sheet Protection Dengan Posisi di $y = -1$ m, $y = -1.2$ m, dan $y = -1.5$ m	34

4.4.1	Variasi Peletakan Sheet Protection pada $y = -1$ m	34
4.4.1.1	Kontur Kecepatan pada Permukaan Tumpukan tube paling atas pada $y = -1.7$ m dilihat dari 3 titik pengamatan	34
4.4.1.2	Vektor Kecepatan pada Plane Searah Tube pada $y = -1.7$ m	37
4.4.2	Variasi Peletakan Sheet Protection pada $y = -1.2$ m	37
4.4.2.1	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan <i>tube paling atas, pada</i> $y = -1,7$ m (bidang xz) dilihat dari 3 titik pengamatan	37
4.4.2.2	Vektor Kecepatan pada Plane Searah Tube pada $y = -1.7$ m	39
4.4.3	Variasi Peletakan Sheet Protection pada $y = -1.5$ m	40
4.4.3.1	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan <i>tube paling atas, pada</i> $y = -1,7$ m (bidang xz) dilihat dari 3 titik pengamatan	40
4.4.3.2	Vektor Kecepatan pada Plane Searah Tube pada $y = -1.7$ m	42
4.5	Analisa Kekuatan Material Tube Kondensor Setelah dipasang Sheet Protection	43

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	KESIMPULAN	45
5.2	SARAN	45

DAFTAR PUSTAKA BIODATA PENULIS

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Surface Kondensor.....	5
Gambar 2.2	Zona-zona pada surface kondensor.....	6
Gambar 2.3	Posisi TVV pada sistem powerplant.....	6
Gambar 2.4	Skema TVV pada P&L Diagram: (a) pipa ekstraktor dari HP Turbin menuju ke TVV; (b) Pipa dari TVV menuju ke kondensor.....	7
Gambar 2.5	Pipa uap dari TVV masuk ke kondensor: (a) posisi masuk; (b)dimensi steam deflector di dalam kondensor.....	8
Gambar 2.6	Skematik arah aliran uap dari TVV, dan poto steam deflector dan tumpukan pipa pendingin pada kondensor	8
Gambar 2.7	Data tekanan, temperatur dan laju aliran massa uap air masuk ke HP 7 Heater.....	9
Gambar 2.8	Grafik tekanan, temperatur, dan laju aliran massa masuk ke HP 7 Heater.....	10
Gambar 2.9	Pernyataan proses uap masuk ke dan keluar dari pipa TVV	11
Gambar 2.10	Kecepatan dan laju aliran massa uap yang mengenai steam deflector	15
Gambar 2.11	Sambungan pipa titanium dengan pipa baja.....	16
Gambar 3.1	skema kondensor yang akan dimodelkan	19
Gambar 3.2	skema kondensor.....	20
Gambar 3.3	Geometri dan Mesh steam deflector	20
Gambar 3.4	(a) bentuk meshing inlet; (b) bentuk meshing outflow	21
Gambar 3.5	Vektor kecepatan aliran steam pada $z = 0$ (bidang x,y).....	24
Gambar 3.6	Vektor Kecepatan pada plane searah tube dengan $x = 0.852$ (bidang y,z)	24

Gambar 3.7	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1.7$ m (bidang x,z).....	25
Gambar 3.8	Grafik variasi kecepatan pada sumbu x untuk $y = -1.7$ m, dan $z = 0$ m.....	26
Gambar 4.1	Sistem koordinat	27
Gambar 4.2	Kurva S-N untuk material baja secara umum.....	30
Gambar 4.3	Kurva S-N untuk titanium	31
Gambar 4.4	Posisi pipa TVV terhadap pipa kondensor	32
Gambar 4.5	Grid pemodelan setelah dipasang sheet protection	32
Gambar 4.6	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1.7$ m (bidang x,z).....	33
Gambar 4.7	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ m di $z = 0$ m.....	33
Gambar 4.8	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ m di $z = 0.15$ m.	34
Gambar 4.9	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ m di $z = 0.3$ m..	34
Gambar 4.10	Vektor kecepatan pada plane searah tube dengan $x = 0.852$ m(bidang y,z)	35
Gambar 4.11	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1.7$ m (bidang x,z).....	35
Gambar 4.12	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ m di $z = 0$ m.....	36
Gambar 4.13	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ m di $z = 0.15$ m.	36
Gambar 4.14	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ m di $z = 0.3$ m...	37
Gambar 4.15	Vektor kecepatan pada plane searah tube dengan $x = 0.852$ m(bidang y,z)	37

Gambar 4.16	Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan tube paling atas pada $y = -1.7\text{m}$ (bidang x,z)	38
Gambar 4.17	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7\text{ m}$ di $z = 0\text{ m}$	39
Gambar 4.18	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7\text{ m}$ di $z = 0.15\text{ m}$	39
Gambar 4.19	Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7\text{ m}$ di $z = 0.3\text{ m}$..	40
Gambar 4.20	Vektor kecepatan pada plane searah tube dengan $x = 0.852\text{ m}$ (bidang y,z)	40
Gambar 4.21	Plot data tabel 4.2 terhadap kurva N-S	41

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Steam Tabel	12
Tabel 2.2	Sifat termodinamika air jenuh.....	13
Tabel 3.1	Geometri steam deflector kondensor	21
Tabel 3.2	Boundary Condition Steam Deflektor.....	22
Tabel 4.1	Spesifikasi material pipa titanium.....	28
Tabel 4.2	Tabel perhitungan tegangan dan cycle	41

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Jati B terletak di Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara (pantai utara Jawa Tengah), sekitar 125 km dari Semarang atau sekitar 25 km dari Jepara, 60° 26' LS 110° 44' BT, yang mempunyai total 4 unit dengan masing-masing unit mempunyai kapasitas daya kotor 4x719 MW dan kapasitas daya bersih 4 x 660 MW dengan luas tanah mencapai 150 hektar. PLTU ini berbahan bakar batu bara yang di kirim melalui laut dengan bahan batu bara yang berasal dari Kalimantan.

PT. PLN (Persero) membangun pembangkit ini dengan sistem lessing dengan jangka waktu 23 tahun dengan lessor nya adalah PT. Central Java Power (Sumitomo Group). Selain itu, untuk pengoperasian dan perawatan tidak dilakukan oleh PT. PLN (Persero) itu sendiri, melainkan dengan jasa outsource, yaitu, unit 1 dan 2 diberi kontrak perusahaan jasa ke PT. TJB Power Services, dan unit 3 dan 4 diberikan kepada PT. Komipo Pembangkit Jawa Bali (KPJB) yang merupakan gabungan dari perusahaan Komipo dari Korea dengan PJB (Pembangkitan Jawa Bali).

PLTU Tanjung Jati B ini mempunyai kapasitas 4x660 MW net. Dengan beroperasinya unit 1 & 2 beserta unit 3 & 4 ini, sehingga PLTU Tanjung Jati B berkontribusi terhadap penyediaan energi listrik sebesar 11,5 % dari kebutuhan listrik dari sistem Jawa-Madura-Bali. Unit pembangkitan Tanjung Jati B ini merupakan pemasok daya terbesar ke sistem Jawa-Madura-Bali.

Listrik yang dibangkitkan oleh sistem turbin-generator dengan keluaran sebesar 22,8 kV ditransformasikan ke 525 kV sebelum masuk ke gardu induk setempat yang kemudian ditransmisikan

pada sistem transmisi Jawa-Madura-Bali melalui GI SUTET Ungaran, Jawa Tengah. Adapun sistem yang ditransformasikan ke 150 kV yang menuju Gardu Induk 150 kV Jepara dan sistem 20 kV melalui Town Feeder untuk jaringan distribusi di sekitar PLTU Tanjung Jati B.

Salah satu komponen pada PLTU Tanjung Jati B adalah *condenser*, merupakan alat penukar panas yang dapat digunakan untuk memanfaatkan atau mengambil panas dari suatu fluida untuk dipindahkan ke fluida lain. Cara kerja dari jenis alat ini ialah proses pengubahan dilakukan dengan cara mengalirkan uap kedalam ruangan yang berisi susunan pipa dan uap tersebut akan memenuhi permukaan luar pipa sedangkan air yang berfungsi sebagai pendingin akan mengalir di dalam pipa (tube side), maka akan terjadi kontak antara keduanya dimana uap yang memiliki temperatur panas akan bersinggungan dengan air pendingin yang berfungsi untuk menyerap kalor dari uap tersebut, sehingga temperatur steam (uap) akan turun dan terkondensasi. Tipe *condenser* yang digunakan pada PLTU ini adalah surface condenser, pada tipe kondensor ini, air pendingin masuk melalui bagian bawah, kemudian masuk kedalam pipa (tube) dan akan keluar pada bagian atas, sedangkan uap akan masuk pada bagian tengah kondensor dan akan keluar sebagai kondensat pada bagian bawah.

1.2 Perumusan Masalah

Kebocoran pipa kondensor disebabkan oleh uap yang masuk ke dalam boiler dari High Pressure (HP) ventilator valve memiliki kecepatan yang sangat tinggi, sehingga ketika valve dalam keadaan terbuka uap bertekanan tinggi akan menembak tube kondensor yang akan menyebabkan tube ter-erosi. Maka dari itu untuk mengantisipasi kegagalan yang disebabkan oleh uap bertekanan dan berkecepatan tinggi yang masuk ke dalam kondensor dibutuhkan modifikasi pada desain kondensor. Salah

satu modifikasi desain adalah dengan menggunakan steam deflector. Proses analisis steam deflector pada kondensor dilakukan menggunakan software fluent.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam analisis agar mengarah pada inti masalah sesungguhnya adalah :

1. Kondisi aliran pada *inlet* adalah *steady flow*, *incompressible*, *uniform* dan pada temperatur 425 °C.
2. Faktor kekasaran pada permukaan diabaikan.
3. Perpindahan panas akibat radiasi diabaikan.
4. Energi bangkitan diabaikan.
5. Pemodelan *steam deflector* pada *condenser* dibuat dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6 dan disimulasikan dengan perangkat lunak FLUENT 6.3.26 dengan *domain* aliran 3 (tiga) dimensi.
6. Fluida kerja yang mengalir pada *shell* berupa fluida panas (udara yang dimodelkan sebagai gas ideal), propertinya konstan dan yang mengalir pada *tube* berupa fluida dingin (dimodelkan sebagai *vapour steam*).
7. Perpindahan panas terjadi secara konveksi dan konduksi.
8. Pada sisi *inlet* dikondisikan berupa *velocity inlet* dan *outflow* pada sisi *outlet*.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui distribusi kecepatan di dalam condenser setelah penambahan steam deflector.
2. Mengetahui bentuk aliran di dalam condenser setelah penambahan steam deflector.
3. Membandingkan distribusi kecepatan serta bentuk aliran sebelum dan setelah penambahan steam deflector.
4. Mengetahui akibat dari kecepatan yang terjadi terhadap pipa kondensor.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap semua pihak. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan pengetahuan fenomena aliran, karakteristik aliran, dan perpindahan panas secara analisa 3D pada condenser melalui visualisasi aliran dengan bantuan perangkat lunak.
2. Sebagai referensi dan literatur dalam pembuatan karya ilmiah atau jurnal.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

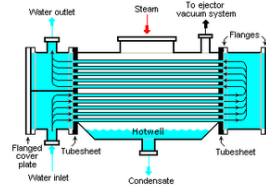
2.1 Dasar Teori

2.1.1 Pengertian *Condenser*

Condenser adalah alat penukar panas yang digunakan untuk mengkondensasikan uap sebagai fluida kerja. Pada system pembangkit tenaga uap, fungsi utama *condenser* adalah mengubah *exhaust steam* dari turbin menjadi fase *liquid* agar dapat dipompakan kembali menuju boiler oleh BFP (*Boiler Feed Pump*). Kondensor permukaan (*Surface Condenser*) adalah salah satu jenis *condenser* dengan prinsip kerja pemisahan cairan pendingin dan *steam* yang didinginkan.

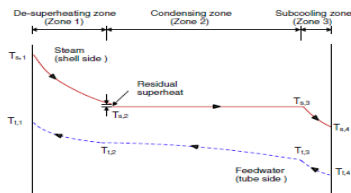
Steam masuk ke dalam sisi *shell* melalui *Steam Inlet Connection* pada bagian atas *condenser*, kemudian *steam* bersinggungan dengan *tube* yang bertemperatur rendah sehingga temperatur *steam* turun dan terjadi proses kondensasi yang menghasilkan kondensat. Kondensat tersebut akan terkumpul pada *hotwell*, kemudian dipindahkan ke *exhaust* kondensat dengan menggunakan pompa kondensat.

Ketika meninggalkan *condenser*, *steam* tidak terkondensasi menjadi kondensat secara keseluruhan karena masih terdapat udara jenuh yang ada di dalam sistem. Udara yang berada di dalam system ini umumnya timbul akibat adanya kebocoran pada perpipaan, *shaft seal*, katup-katup dan sebagainya. Udara ini masuk bersamaan dengan *steam* ke dalam *condenser*. Udara diubah udara jenuh oleh *steam*, kemudian uap jenuh melewati *air-cooling section*, di mana campuran antara udara dan *steam* didinginkan untuk selanjutnya dibuang dari *condenser* dengan menggunakan *air-ejector*. *Air-ejector* berfungsi mempertahankan kevakuman di *condenser*



Gambar 2.1 Surface Condenser

Surface condenser memiliki tiga zona utama yaitu *Desuperheating zone*, *Condensing zone*, *Subcooling zone*. *Desuperheating zone* adalah zona dimana terjadi penurunan temperatur uap dari kondisi *superheat* sampai kondisi uap jenuh. *Condensing zone* adalah zona di mana tidak terjadi penurunan temperatur uap, namun terjadi perubahan fase dari kondisi uap jenuh sampai menjadi kondisi cair jenuh. *Condensing zone* adalah zona terbesar di dalam sebuah *condenser*. *Subcooling zone* adalah zona lanjutan dari *condensing zone*. Pada zona ini, uap yang sudah mencapai kondisi cair jenuh terus memanaskan *seawater* yang melewati *tube* akibatnya temperature kondensat menurun sampai pada fase *subcool*. Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik tiap zona pada *surface condenser*.

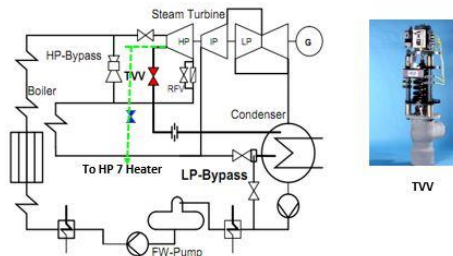
Gambar 2.2 Zona-zona pada *surface condenser*

Pada gambar 2.2 terlihat bahwa pada sisi akhir zona *desuperheating* terdapat *residual superheat*. *Residual superheat* adalah fluida residu fasa panas lanjut yang keluar dari zona *desuperheated*. Besar temperatur residual superheated adalah $0,5^{\circ}\text{C}$ dari temperatur pengembunan.

2.1.2 Posisi Dan Fungsi Turbine Ventilator Valve

Posisi Turbine Ventilator Valve (TVV) pada system power plant secara schematic ditunjukkan pada Gambar 2.3. TVV adalah spring opened, air closed, poppet type valve. Fungsi utamanya adalah untuk menyediakan pendinginan selama turbine trip. TVV dikontrol oleh aktuatur yang bekerja dengan udara bertekanan melalui solenoid valve dan digerakan oleh load reference.

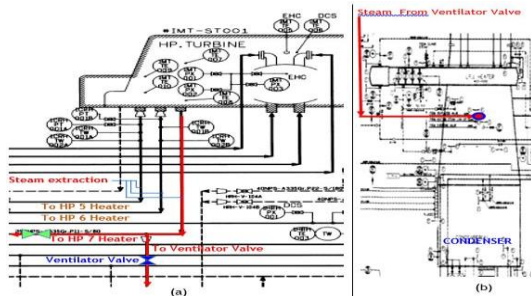
Ketika terjadi turbine trip, bagian HP Turbine akan overheat akibat dari windtage losses. Untuk mencegah hal tersebut, ventilator valve dipasang pada HP Turbine dan dikoneksikan sedemikian rupa sehingga dapat menarik uap dari sisi down-stream untuk dialirkan langsung menuju ke kondenser.



Gambar 2.3 Posisi Turbine Ventilator Valve (TVV) pada system power plant

2.1.3 Asal Aliran Uap Menuju ke Turbine Ventilator Valve

Bila ditinjau dari P&I Diagram yang dipotong, posisi TVV ditunjukkan pada Gambar 2.4.



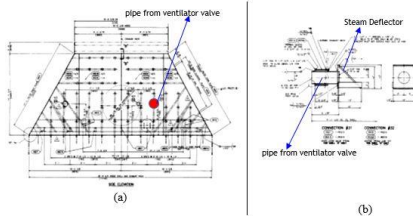
Gambar 2.4 Skema TVV pada P&I Diagram: (a) Pipa Extraction dari HP Turbine menuju ke TVV; (b) Pipa dari TVV menuju ke Kondenser

Uap air yang menuju ke TVV berasal dari pipa steam extraction pada HP Turbine seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 (a). Pada kondisi operasi normal, TVV pada kondisi CLOSED, dan steam extraction dari HP Turbine menuju ke HP 7 Heater berfungsi untuk memanasi feed water heater. TVV pada kondisi OPENED, hanya terjadi bila turbin trip atau pada kondisi start-up.

Steam extracted melewati TVV mengalir melalui pipa dan masuk ke dalam kondenser seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 (b). Di dalam kondenser uap dikondensasikan untuk disirkulasikan kembali sebagai feed water boiler.

2.1.4 Steam Deflector

Pipa Steam Extraction masuk ke dalam kondenser pada posisi horizontal. Untuk mengarahkan aliran uap dari posisi horizontal menuju arah ke bawah agar mengenai pipa pendingin, maka bagian depan pipa steam extraction yang berada di dalam kondensor diberi steam deflector.



Gambar 2.5 Pipa uap dari ventilator valve masuk ke kondenser: (a) posisi masuk; (b) dimensi steam deflector di dalam kondenser

Posisi pipa ventilator valve berada di atas susunan pipa pendingin di dalam kondenser. Diameter pipa ventilator valve adalah 6 inches. Steam deflector mempunyai dimensi panjang dan lebar adalah sama yaitu 12 inches dan membentuk sudut 45° terhadap arah vertikal.

2.1.5 Skematik Arah Aliran Uap dari Steam Deflector Menuju Tube Pendingin

Uap dari extraction pipe HP Turbine mengalir melalui dalam pipa ventilator valve yang berbelok-belok dan pada posisi horizontal ketika masuk ke dalam kondensor. Arah aliran uap ini kemudian dibelokkan ke bawah oleh steam deflector agar mengenai tube bank (tumpukan pipa) pendingin pada kondenser. Gambar skematik dan photo deflector steam dan tumpukan pipa pendingin pada kondenser ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Skematik arah aliran uap dari ventilator valve, dan photo deflector steam dan tumpukan pipa pendingin pada kondenser.

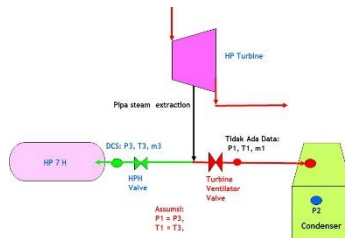
Uap berasal dari ventilator valve masuk dengan kecepatan tinggi ke dalam kondensor, dan dibelokan oleh steam deflektor mengenai tumpukan pipa pendingin. Karena tumbukan uap dengan kecepatan tinggi mengenai tumpukan pipa, maka akibatnya ada sebagian pipa yang bocor.

2.1.6 Analisa Kecepatan Uap Ketika Mengenai Steam Deflector

Tujuan dari analisa di sini adalah untuk mengetahui berapa kecepatan uap air ketika menabrak condenser tube sehingga dapat mengakibatkan kebocoran pada tube. Untuk menjawab pertanyaan ini kita harus mencari terlebih dahulu berapa kecepatan uap ketika menabrak steam deflector.

Data utama yang diperlukan untuk mencari kecepatan uap air ketika menabrak steam deflector adalah tekanan dan temperatur uap air ketika meninggalkan ventilator valve, dan tekanan kerja kondenser pada sisi uap (hot side). Tidak ada data yang mencatat tekanan (P_1) dan temperatur (T_1) uap meninggalkan ventilator valve. Namun P_1 dan T_1 dapat dicari dengan asumsi sebagai berikut.

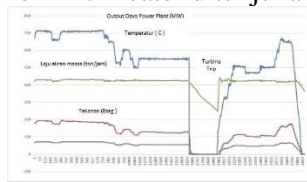
Hubungan pipa steam extraction, pipa ke HP 7 Heater, dan pipa ventilator valve ditunjukkan pada Gambar 2.7. Data di DCS yang ada adalah data tekanan (P_3), temperatur (T_3), dan laju aliran massa (m_3) yang menuju ke HP 7 Heater. Untuk kondisi valve pada pipa HP7 H membuka penuh dan turbine ventilator valve juga membuka penuh, maka dapat diassumsikan bahwa tekanan $P_3 = P_1$, dan temperatur $T_3 = T_1$. Jadi tingkat keadaan uap (TK 1) yang berupa P_1 dan T_1 dapat diketahui secara tidak langsung dari DCS yang besarnya sama dengan pembacaan untuk P_3 dan T_3 ketika uap air masuk ke HP 7 Heater.



Gambar 2.7. Hubungan pipa steam extraction, pipa ke HP 7 Heater, dan pipa ventilator valve.

2.1.7 Data Tekanan, Temperatur dan Laju Aliran Massa Uap Air Masuk ke HP 7 Heater

Data dari DCS mengenai tekanan, temperatur, dan laju aliran massa uap air masuk ke HP 7 Heater ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Grafik tekanan, temperatur, dan laju aliran massa masuk ke HP 7 Heater

Kebocoran condenser tubes terjadi setelah terjadinya turbine trip dan ketika turbine sudah beroperasi penuh. Gambar 2.6 menunjukkan data bahwa tekanan adalah 56 bar dan temperatur adalah 425 °C di range waktu dimana terjadi kebocoran pada condenser tubes. Dengan kata lain tekanan dan temperatur uap air keluar dari ventilator valve masing-masing adalah,

$$P_1 = 56 \text{ bar, dan}$$

$$T_1 = 425 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

2.1.8 Data Tekanan Kondeser Pada Sisi Uap

Uap masuk ke kondenser berada di sisi luar dari pipa pipa pendingin, sedangkan air pendingin yang berasal dari laut berada di sisi dalam pipa. Tekanan kondensor pada sisi uap (sisi panas) dipertahankan konstan dengan vacum pump pada tekanan vakum -

0,9 barg atau sama dengan 0,1 bar absolut. Dengan kata lain P_2 yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 adalah,

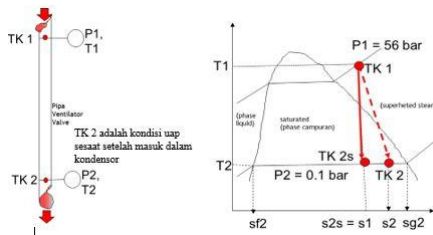
$$P_2 = 0,1 \text{ bar.}$$

Uap berada di dalam kondensor diassumsikan pada keadaan jenuh dengan tekanan, $P_2 = 0,1 \text{ bar}$, maka dari Tabel Termodinamika untuk Uap Air (Diagram Moller) didapat bahwa temperatur uap jenuh adalah,

$$T_2 = 45 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

2.1.9 Pernyataan Proses Uap Keluar dari Ventilator Valve Masuk Kedalam Kondenser

Pernyataan proses uap masuk dan keluar ke/dari pipa ventilator valve dari tingkat keadaan TK 1 ke TK 2 ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pernyataan proses uap masuk ke dan keluar dari pipa ventilator valve

Gambar 2.9 menunjukkan bahwa uap air berada pada phase panas lanjut (super heated steam) pada $P_1 = 56 \text{ bar}$, $T_1 = 425 \text{ } ^\circ\text{C}$ masuk kedalam pipa ventilator valve dan keluar pada outlet pipa yang ada di dalam kondenser pada tekanan $P_2 = 0,1 \text{ bar}$, kondisi jenuh. Persamaan balans aliran massa pada pipa untuk kondisi steady state:

$$\text{Laju aliran massa masuk } (\dot{m}_1) = \text{laju aliran massa ke luar } (\dot{m}_2) \\ \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} \quad (2.1)$$

Persamaan balans energi pada pipa untuk kondisi steady state:

Laju aliran energi masuk = laju aliran energi keluar

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} z_1 \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} z_2 \right) \quad 2.2$$

Dimana h : enthalpi, V : kecepatan, z : ketinggian, g : gravitasi bumi, dan g_c : konstanta konversi satuan, $g_c = 1$ (untuk sistem Satuan Internasional-SI) dan $g_c = 32,172 \frac{lbm-ft}{lbf-s^2}$ (untuk sistem satuan British),

$$\left(\frac{V_2^2}{2g_c} \right) = \left((h_1 - h_2) + \frac{V_1^2}{2g_c} + \frac{g}{g_c} (z_1 - z_2) \right) \quad 2.3$$

Dengan asumsi $V_1 \ll V_2$, maka V_1 diabaikan, dan $z_1 = z_2$, maka Persamaan 2.3 menjadi

$$\left(\frac{V_2^2}{2g_c} \right) = (h_1 - h_2) \quad 2.4 \text{ a}$$

$$V_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)} \quad 2.4 \text{ b}$$

dimana $g_c = 1$ karena menggunakan sistem Satuan Internasional (SI)

Persamaan 2.4 menunjukkan bahwa kecepatan uap keluar dari pipa ventilator valve, V_2 dapat dihitung dengan mengetahui enthalpi pada keadaan uap masuk, h_1 dan enthalpi pada keadaan uap keluar dari pipa, h_2 . Nilai enthalpi ini merupakan fungsi dari tekanan dan temperatur uap.

Proses dari TK 1 ke TK 2s, mula-mula diasumsikan pipa diisolasi (berarti proses adiabatik) dan aliran uap dalam pipa tidak ada gesekannya (proses reversibel). Dengan menggunakan persamaan balans entropi, didapat bahwa,

$$s_{2s} - s_1 = \frac{Q}{T} + \sigma \quad 2.5$$

Dimana Q adalah energi panas yg keluar dari pipa, dan $Q = 0$, karena pipa diisolasi (diassumsikan adiabatik); σ adalah produksi entropi, dan $\sigma = 0$ karena proses reversibel.

Persamaan 2.5 sekarang menjadi,

$$\begin{aligned} s_{2s} - s_1 &= 0 \\ s_{2s} &= s_1 \end{aligned} \quad 2.6$$

Proses dari TK 1 ke TK 2s boleh dikata (dengan kata lain) merupakan proses entropi konstan atau proses isentropik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Dengan menggunakan Persamaan 2.4 dan untuk proses isentropik, maka didapat bahwa kecepatan isentropik keluar dari pipa ventilator valve adalah,

$$V_{2s} = \sqrt{2(h_1 - h_{2s})} \quad 2.7$$

2.1.10 Menghitung Kecepatan Uap Keluar dari Ventilator Valve Masuk Kedalam Kondenser

Untuk TK 1: $P_1 = 56$ bar dan $T_1 = 425$ °C, maka dari tabel uap, h_1 dapat dicari dengan cara interpolasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.1, dan didapat bahwa $h_1 = 3.240$ kJ/kg, dan $s_1 = 6,722$ (kJ/kg K).

Tabel 2.1 Steam Table

T	v	u	h	s	v	u	h	s
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg · K	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg · K
p = 40 bar = 4.0 MPa					p = 60 bar = 6.0 MPa			
(T _{sat} = 250.4 °C)					(T _{sat} = 275.64 °C)			
Sat.	0.04978	2602.3	2801.4	6.0701	0.03244	2589.7	2784.3	5.8892
280	0.05546	2680.0	2901.8	6.2568	0.03317	2605.2	2804.2	5.9252
320	0.06199	2767.4	3015.4	6.4553	0.03876	2720.0	2952.6	6.1846
360	0.06788	2845.7	3117.2	6.6215	0.04331	2811.2	3071.1	6.3782
400	0.07341	2919.9	3213.6	6.7690	0.04739	2892.9	3177.2	6.5408
440	0.07872	2992.2	3307.1	6.9041	0.05122	2970.0	3277.3	6.6853
500	0.08643	3099.5	3445.3	7.0901	0.05665	3082.2	3422.2	6.8803
540	0.09145	3171.1	3536.9	7.2056	0.06015	3156.1	3517.0	6.9999
600	0.09885	3279.1	3674.4	7.3688	0.06525	3266.9	3658.4	7.1677
640	0.1037	3351.8	3766.6	7.4720	0.06859	3341.0	3752.6	7.2731
700	0.1110	3462.1	3905.9	7.6198	0.07352	3453.1	3894.1	7.4234
740	0.1157	3536.6	3999.6	7.7141	0.07677	3528.3	3989.2	7.5190

Untuk TK 2S dimana $s_{2s} = s_1 = 6,722$ (kJ/KgK), dan $P_2 = 0,1$ bar uap jenuh, maka dari Tabel 2.2 didapat bahwa:

- Entropi cair jenuh s_{f2} dan uap jenuh s_{g2} masing masing adalah $s_{f2} = 0,6493$ (kJ/kgK) dan $s_{g2} = 8,1502$ (kJ/kg K);
- Enthalpi cair jenuh h_{f2} dan uap jenuh h_{g2} masing masing adalah $h_{f2} = 191,83$ (kJ/kg) dan $h_{g2} = 2584,7$ (kJ/kg);
- Volume jenis cair jenuh v_{f2} dan uap jenuh v_{g2} masing masing adalah $v_{f2} = 0,0010102$ (m³/kg) dan $v_{g2} = 14,674$ (m³/kg).

Tabel 2.2 Sifat termodinamika air jenuh

Pressure Conversions:
1 bar = 0.1 MPa
= 10⁵ Pa

Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Pressure Table

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg		Entropy kJ/kg · K		Press. bar	
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f		Sat. Vapor s_g
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.4746	0.04
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	2567.4	0.5210	8.3304	0.06
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	2577.0	0.5926	8.2287	0.08
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	8.1502	0.10
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.9085	0.20

Kualitas air jenuh (x_{2s}) pada TK 2S dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.8 sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 x_{2s} &= \frac{s_{2s} - s_{f2}}{s_{g2} - s_{f2}} \\
 &= \frac{6,722 - 0,6493}{8,1502 - 0,6493} \\
 x_{2s} &= 0,8096
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Dengan diketahuinya x_{2s} , maka enthalpi h_{2s} pada TK 2S dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.9 sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 h_{2s} &= (1 - x_{2s})h_{f2} + x_{2s}h_{g2} \\
 h_{2s} &= (1 - 0,8096) \times 191,83 + 0,8096 \times 2584,7 \\
 h_{2s} &= 2.129,088 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

Juga dengan diketahuinya x_{2s} , maka volume jenis v_{2s} pada TK 2S dapat pula dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.10 sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
v_{2s} &= (1 - x_{2s})v_{f2} + x_{2s} v_{g2} \\
v_{2s} &= (1 - 0,8096) \times 0,0010102 + 0,8096 \times 14,675 \\
v_{2s} &= 11,9 \left(\frac{m^3}{kg} \right)
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Dengan memasukkan nilai $h_1 = 3.240$ (kJ/kg) dan $h_{2s} = 2.129,088$ (kJ/kg) ke dalam Persamaan 2.7, maka V_{2s} dapat dihitung,

$$\begin{aligned}
V_{2s} &= \sqrt{2(h_1 - h_{2s})} \\
V_{2s} &= \sqrt{2 \times (3.240 - 2.129,088) \times 1000} \\
V_{2s} &= 1.490,58 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Kecepatan isentropik uap air keluar dari pipa ventilator valve dan masuk ke dalam kondenser adalah 1.490,58 m/s. Kecepatan isentropik adalah kecepatan dengan asumsi bahwa aliran uap air dengan permukaan dalam pipa tidak ada gesekannya dan prosesnya adiabatik. Namun kenyataan ada gesekan antara aliran uap dengan permukaan dalam-pipa. Didefinisikan efisiensi isentropik yang merupakan perbandingan kecepatan aktual terhadap kecepatan isentropik dan dinyatakan dengan Persamaan 2.11 sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
\eta_s &= \frac{\left(\frac{V_2^2}{2} \right)}{\left(\frac{V_{2s}^2}{2} \right)} \\
V_2 &= V_{2s} \sqrt{\eta_s}
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Efisiensi isentropik untuk aliran di dalam pipa diassumsikan mempunyai nilai 85%, maka kecepatan V_2 dapat dihitung dengan Persamaan 2.11 dan memasukkan nilai $V_{2s} = 1.490,58$ m/s dan $\eta_s = 0,85$

$$\begin{aligned}
V_2 &= 1.490,58 \sqrt{0,85} \\
V_2 &= 1.374,25 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Dengan diketahui $V_2 = 1.374,25$ m/s, $g_c = 1$, dan kemudian dengan menggunakan Persamaan 2.4 a, nilai h_2 dapat dihitung sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 h_2 &= h_1 - \left(\frac{v_2^2}{2g_c} \right) \\
 h_2 &= 3.240 - \left(\frac{1.374,25^2}{2 \times 1} \right) \times \frac{1}{1000} \\
 h_2 &= 2.295,725 \left(\frac{kJ}{kg} \right)
 \end{aligned}$$

2.1.11 Menghitung Kualitas Uap Keluar dari Ventilator Valve Masuk Kedalam Kondenser

Kualitas uap keluar dari ventilator valve dan masuk ke kondenser dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.12 sebagai berikut,

$$x_2 = \frac{h_2 - h_{f2}}{h_{g2} - h_{f2}} \quad 2.12$$

$$\begin{aligned}
 x_2 &= \frac{2.295,725 - 191,83}{2.584,700 - 191,83} \\
 x_2 &= 0,88 = 88,0\%
 \end{aligned}$$

Jadi uap keluar dari pipa ventilator valve mempunyai kualitas 88% atau dengan kata lain terdiri dari uap air 88% dan air 12 %.

2.1.12 Menghitung Laju Aliran Massa Uap Keluar dari Pipa Ventilator Valve Masuk Kedalam Kondenser

Untuk dapat menghitung laju aliran massa uap keluar dari pipa ventilator valve masuk kedalam kondenser harus dihitung terlebih dahulu besarnya volume jenis uap pada sisi outlet dari pipa yang digambarkan pada TK 2. Besarnya volume jenis uap keluar dari pipa ventilator dapat dihitung dengan Persamaa 2.13 sebagai berikut,

$$v_2 = (1 - x_2)v_{f2} + x_2 v_{g2} \quad (2.13)$$

Dimana v_2 adalah volume jenis uap, x_2 : kualitas uap, v_{f2} adalah volume jenis cair jenuh (saturated liquid), dan v_{g2} adalah volume

jenis uap jenuh (saturated vapour), index 2 menyatakan pada tingkat keadaan (TK) 2. Dengan menggunakan nilai nilai dari besaran yang diperoleh sebelumnya bahwa $v_{f2} = 0,0010102$ (m^3/kg), $v_{g2} = 14,674$ (m^3/kg), dan $x_2 = 0,88$ maka besarnya v_2 dapat dihitung sebagai berikut,

$$v_2 = (1 - 0,88) \times 0,0010102 + 0,88 \times 14,675$$

$$v_2 = 12,9 \left(\frac{m^3}{kg} \right)$$

Atau dalam satuan massa jenis

$$\rho_2 = \frac{1}{v_2} = \frac{1}{12,9} = 0,0775 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Volume jenis uap campuran (air dan uap) keluar dari pipa ventilator adalah $12,9$ (m^3/kg), atau dalam satuan massa jenis adalah $0,0775$ (kg/m^3). Besarnya laju aliran massa yang keluar dari pipa ventilator dapat dihitung dengan persamaan (2.14) sebagai berikut,

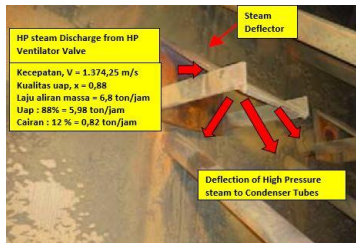
$$\dot{m} = \rho_2 \frac{\pi D^2}{4} V_2 \quad 2.14$$

Dimana D adalah diameter pipa ventilator = $6 \text{ in} = 0,15 \text{ m}$. Laju aliran massa (\dot{m}) yang mengalir melalui dalam-pipa Turbine Ventilator Valve (TVV) ketika TVV gagal menutup adalah,

$$\dot{m} = 0,0775 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times \frac{\pi \times 0,15^2 (m^2)}{4} \times 1.374,25 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\dot{m} = 1,889 \left(\frac{kg}{s} \right) = 6,8 \text{ (ton/jam)}$$

Laju aliran massa uap ini terdiri dari 2 phase yaitu phase cair sebanyak $12\% \times 6,8 \text{ ton/jam} = 0,816 \text{ (ton/jam)}$ dan phase uap sebanyak $88\% \times 6,8 \text{ (ton/jam)} = 5,984 \text{ (ton/jam)}$. Laju aliran massa uap campuran $6,8 \text{ (ton/jam)}$ ini mengenai steam deflector dan deflexi arah aliran ini yang akan mengenai pipa kondensor. Gambar kecepatan dan laju aliran massa uap yang mengenai steam deflector ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kecepatan dan laju aliran massa uap yang mengenai steam deflektor

Gambar 2.10 menunjukkan bahwa kecepatan dan laju aliran uap keluar dari pipa TVV masing-masing adalah $V = 1.374,25 \text{ m/s}$ dan $\dot{m} = 6,8 \text{ ton/jam}$ dalam arah horizontal menabrak steam deflektor untuk mendefleksikan arah aliran kebawah menuju tumpukan (bundle) pipa kondensor. Jarak kebawah antara steam deflektor dengan tumpukan pipa pada barisan paling atas adalah 1,7 m. Sudah barang tentu bahwa kecepatan uap tepat mengenai permukaan pipa sudah tidak lagi $1.374,25 \text{ m/s}$ namun sudah berkurang dengan arah kebawah yang berpecah sebagai akibat percikan dari hasil tabrakan antara uap dengan steam deflektor.

Untuk mencari berapa kecepatan uap saat mengenai permukaan pipa dan bagaimana distribusi kecepatannya tidak dapat dihitung secara analitikal biasa, namun harus menggunakan bantuan software yaitu *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Modeling dan hasil perhitungan CFD akan dibahas tersendiri pada Bab IV.

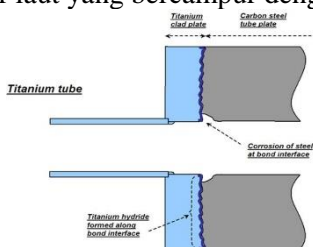
2.2 Penelitian terdahulu

Ashwini K. Sinha(2010)

Jurnal dengan judul “*Aspects of Failure of Condenser tubes and their Remedial Measures at Powerplants*” bertujuan untuk memahami apa saja penyebab kerusakan pada kondensor dan akibat yang dihasilkan dari kerusakan kondensor tersebut. Di salah satu stasiun pantai yang menggunakan air laut sebagai media pendingin dan memiliki Titanium grade II dengan plat tabung baja karbon titanium. Waterbox dilapisi dengan bahan GRP 3 mm. Awalnya unit dilengkapi dengan zinc anode berdasarkan

katodic protection method. Anoda dari zinc terlarut sangat cepat dalam air laut. Dianjurkan untuk menggunakan paduan berdasarkan Aluminium sebagai bahan Anoda. Pemasok peralatan menggantikan anoda dari zinc dengan anoda paduan berbasis aluminium, namun; bracket anoda tidak diganti. Bracket baja yang terkorosi tidak mampu untuk menahan beban dari anoda. Sisa-sisa bracket lepas dan mengenai pipa, merusak beberapa pipa dalam proses. Perbaikan dilakukan dan semua anoda dengan bracket dihilangkan. Akhirnya diamati bahwa di salah satu unit setelah merombak konduktivitas kation dan menunjukkan intermiten trend naik. Pengujian akustik dan Helium digunakan untuk mengidentifikasi sumber kebocoran / rembesan. Beberapa pipa untuk pengujian dipasang. Namun; konduktivitas kation yang sebentar-sebentar menunjukkan tren meningkat. Hal ini diduga bahwa pipa Titanium dan / atau clad tube titanium telah terkikis karena Hidridisasi dari reaksi korosi. Itu mungkin alasan bisa:

- a) Pada saat pengoperasian sistem proteksi katodik berpotensi lebih negatif daripada $-1,2\text{ V}$ yang mengakibatkan hidridisasi dari pipa titanium / plat pipa
- b) pipa atau sambungan pipa tidak disegel dengan benar menyebabkan korosi galvanic antara titanium cladding dan baja karbon atau sambungan titanium cladding telah gagal yang mengakibatkan reaksi korosi terjadi seperti ditunjukkan dalam gambar berikut dan pengembangan retak hidrida dari air laut yang bercampur dengan kondensat.



Gambar 2.11. Sambungan pipa titanium dengan pipa baja

2.3 Pemodelan Pada FLUENT

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan perangkat analisa dengan berdasarkan pada persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Metode ini sering digunakan sebagai proses simulasi *thermofluid* untuk menyelesaikan berbagai permasalahan *engineering*. Dalam menggunakan metode ini, perlu adanya pemahaman mendalam tentang fenomena fluida dan perpindahan panas. Hal tersebut bertujuan agar hasil dari simulasi yang dilakukan cukup merepresentasikan kondisi secara nyata. Dalam melakukan proses simulasi ini, diperlukan tiga langkah dasar yaitu *pre-processing*, *processing* dan *post-processing*.

Pada tahap *pre-processing*, langkah pertama yang dilakukan adalah pembuatan geometri model. Geometri model harus sesuai dengan dimensi serta parameter lain pada kondisi nyata. Langkah yang dilakukan selanjutnya adalah membagi-bagi *domain* pemodelan yang telah dibuat menjadi bagian-bagian kecil (*grid*). Pada umumnya, proses ini dinamakan *meshing*. Bagian-bagian kecil dari *domain* ini akan dilakukan perhitungan secara numerik oleh perangkat lunak dengan berdasarkan pada tiga persamaan di atas. Kualitas dari hasil simulasi sangat dipengaruhi oleh kualitas *meshing*. Semakin besar jumlah *grid*, maka kualitas hasil simulasi akan semakin baik. Pada umumnya, jumlah *grid* yang dibuat harus optimal karena semakin banyak jumlah *grid*, maka semakin lama juga proses simulasi berlangsung dan diperlukan perangkat komputer dengan keandalan dan kualitas yang tinggi. Langkah yang dilakukan selanjutnya adalah pemberian kondisi batas (*boundary condition*) seperti *wall*, *velocity inlet*, *outflow*, *symmetry* dan lain-lain. Pemberian kondisi batas ini perlu dilakukan untuk mendefinisikan *domain* yang telah dibuat. Keseluruhan tahapan pada *pre-processing* tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT.

Tahap selanjutnya adalah *processing* yang merupakan tahap simulasi pada *domain* pemodelan yang telah dibuat. Keseluruhan tahap ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak FLUENT. Pada tahap *processing*, langkah yang harus dilakukan

adalah memberikan beberapa parameter yang digunakan untuk proses simulasi. Beberapa parameter tersebut yaitu :

1. Model 3D

Pada pemilihan model simulasi, terdapat beberapa pilihan pengaturan, salah satunya adalah model simulasi tiga dimensi dengan jenis *double precision*. Model tiga dimensi dipilih jika *domain* yang akan disimulasikan berbentuk tiga dimensi. Sedangkan jenis *double precision* dipilih jika *domain* yang akan disimulasikan memiliki geometri dan ukuran yang kompleks serta tidak memiliki gradasi dimensi yang sangat tinggi.

2. Solver

Pada pengaturan *solver*, terdapat pengaturan tentang jenis basis dari simulasi. Basis tekanan dapat dipilih jika fluida pada simulasi diasumsikan tidak mengalami perubahan *density*. Bila *density* fluida diasumsikan berubah saat proses simulasi, maka basis yang dipilih harus basis *density*.

3. Turbulence Modelling

Pada pengaturan *turbulence modelling*, terdapat pengaturan tentang pemodelan fluida yang mengalir secara turbulen. Jika bilangan Reynold fluida rendah, maka dapat dipilih - RNG. Selain itu, bila terdapat efek turbulensi aliran akibat *wall*, maka *Enhance Wall Treatment* dapat dipilih dengan mengaktifkan opsi *Pressure Gradient Effect* dan *Thermal Effect*.

4. Energy Equation

Pengaturan *energy equation* dapat diaktifkan bila simulasi yang dilakukan membutuhkan adanya perhitungan persamaan energi. Perhitungan persamaan energi perlu dilakukan pada simulasi yang memerlukan adanya analisis tentang distribusi perpindahan panas, *Nusselt Number*, dan lain-lain.

5. Materials

Pada pengaturan *Materials*, terdapat pengaturan tentang material fluida dan material solid yang digunakan pada saat simulasi berlangsung. Jenis dan *properties* material harus sesuai dengan kondisi operasi nyata agar simulasi yang dilakukan menghasilkan data-data yang akurat.

6. *Operating Condition*

Pada menu *operating condition*, terdapat pengaturan tentang tekanan yang ada di dalam sistem. Besarnya nilai tekanan tersebut harus sesuai dengan kondisi realita yang ada.

7. *Boundary Condition*

Pada menu *boundary condition*, terdapat pengaturan tentang pemberian nilai dari hasil pemberian kondisi batas pada tahap *pre-processing*.

8. *Control Monitoring and Residual Solution*

Pada menu *control monitoring and residual solution*, terdapat pengaturan tentang jenis perhitungan numerik seperti *first order*, *second order upwind* dan lain-lain. Selain itu, pada menu ini juga dilakukan pengaturan tentang pembatasan nilai *error* yang diterima dari hasil proses perhitungan. Semakin kecil batas *error* yang diterima, maka hasil proses simulasi yang diperoleh juga akan semakin akurat.

9. *Initialize Condition*

Pada menu *initialize condition*, terdapat pengaturan tentang nilai awal dari proses perhitungan. Nilai awal dari proses perhitungan secara numerik ini dapat dilakukan dari berbagai tempat pada *domain*.

10. *Iteration*

Langkah terakhir proses pengaturan simulasi ini adalah *iteration*. Pada menu ini terdapat pengaturan tentang batasan jumlah iterasi yang dilakukan. Proses iterasi akan berhenti bila *error* hasil perhitungan telah memenuhi kriteria dari hasil pengaturan pada tahap *control monitoring and residual solution*.

Tahap selanjutnya yaitu *post-processing*. Pada tahap ini, dilakukan analisis dari hasil simulasi secara keseluruhan. Data yang dihasilkan dapat ditampilkan secara kualitatif dari kontur hasil simulasi, seperti kontur kecepatan, kontur temperatur, kontur tekanan dan lain-lain. Selain itu, hasil proses simulasi juga dapat ditampilkan secara kuantitatif, seperti nilai distribusi *Nusselt Number*, nilai koefisien perpindahan panas total, nilai kecepatan pada daerah dekat dinding dan lain-lain. Dari kedua jenis data ini,

analisis yang dilakukan akan semakin akurat, sehingga karakteristik aliran dan perpindahan panas akan mudah dilakukan.

BAB 3

METODOLOGI PERCOBAAN

3.3.1 Tahapan Penelitian

Dalam melakukan penelitian dan studi numerik mengenai analisis penambahan *steam deflector* pada *condenser* terhadap karakteristik perpindahan panas, Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, antara lain:

1. Studi Kasus

Permasalahan yang diangkat pada penelitian tugas akhir ini adalah penambahan *steam deflector* pada *twin shell single pressure surface condenser* sebagai upaya untuk meminimalisir kerusakan pada salah satu komponen PLTU Tanjung Jati B.

2. Studi Literatur

Untuk memperdalam pemahaman mengenai permasalahan yang dibahas, dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan proses perpindahan panas yang terjadi pada *twin shell single pressure surface condenser* yang dipengaruhi oleh penambahan *steam deflector*, geometri *steam deflector* serta studi literatur mengenai simulasi numerik perpindahan panas menggunakan perangkat lunak *fluent*. Studi Literatur diperoleh dari buku-buku, Jurnal, e-book, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas.

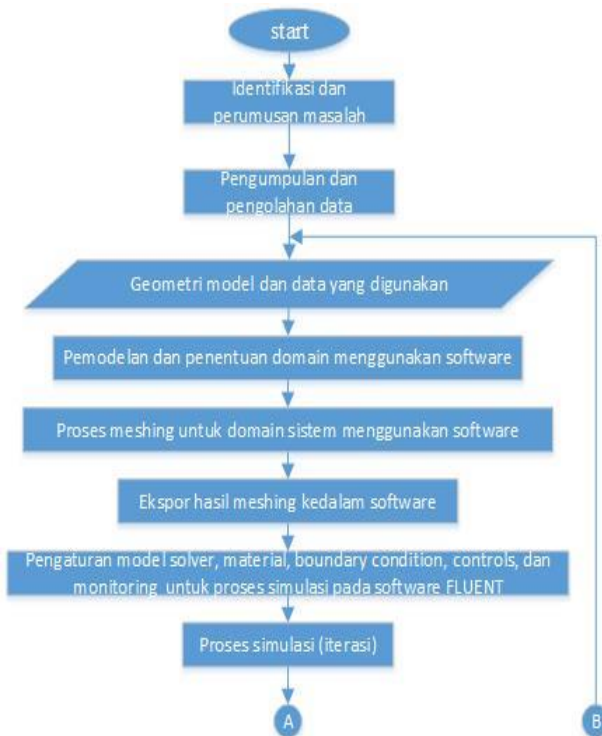
3. Pemodelan dan Simulasi

Proses Pemodelan dimulai dengan pembuatan geometri control volume yang telah ditentukan dan menentukan domain menggunakan software *GAMBIT 2.4.6*. Setelah itu dilakukan proses Simulasi dari domain control volume yang telah dibuat dengan memasukkan properties serta data-data yang dibutuhkan kedalam software *FLUENT 6.3.26*. Setelah proses simulasi, dilakukan proses Post-Processing dengan menampilkan hasil simulasi berupa distribusi bilangan Nusselt, kecepatan outlet, dan Pressure Drop.

4. Pengolahan dan Analisa Data Hasil Simulasi

Setelah proses simulasi selesai, dilakukan pengambilan data hasil simulasi. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk kontur dan pathline untuk dianalisa secara kualitatif, dan juga diolah dalam bentuk grafik atau tabel sehingga dapat dianalisa secara kuantitatif. Dari kedua parameter tersebut, dapat dibahas fenomena aliran dan karakteristik hasil perpindahan panas yang terjadi pada tube banks.

3.2 Flowchart Penelitian





3.3 Tahapan Pemodelan dan Simulasi

Pada penelitian ini akan dibandingkan hasil simulasi numerik pada *twin shell single pressure surface condenser* dengan melakukan variasi geometri *steam deflector*. Simulasi numerik adalah sebuah proses simulasi berbasis perhitungan yang dilakukan oleh sebuah perangkat lunak komputer dengan mendefinisikan parameter-parameter yang sesuai dengan boundary conditions, lalu dilanjutkan dengan proses iterasi atau pengulangan sampai tercapainya konvergensi untuk mendapatkan nilai pendekatan yang signifikan. Pada proses numerik terbagi menjadi 3 tahapan, yakni Pre- Processing, Processing, dan PostProcessing.

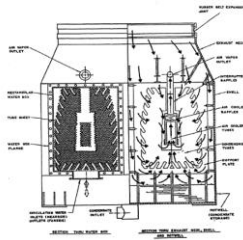
3.3.1 Pre-Processing

Pre-processing adalah proses awal dari suatu simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD). Pada proses ini dilakukan pembuatan geometri dan menentukan domain dari control volume yang akan disimulasikan. Proses Pre-Processing seluruhnya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6. Beberapa tahapan dari proses Pre-Processing antara lain :

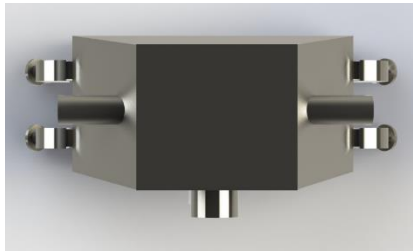
1. Pembuatan Model

Model awal yang akan dibuat adalah bentuk susunan *superheater heat exchanger* yang kemudian akan ditentukan suatu kontrol

volume yang dapat mewakili sistem secara menyeluruh seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.

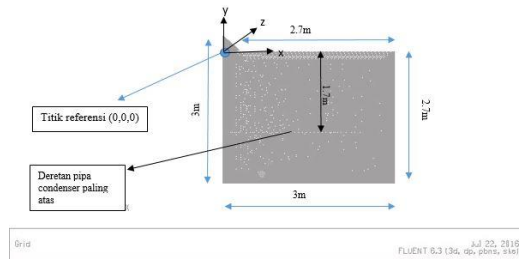


Gambar 3.1 skema kondensor yang akan dimodelkan



Gambar 3.2 Skema *condenser*

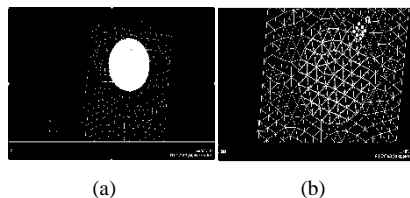
Control volume dibuat untuk mensimplikasi permasalahan dalam melakukan simulasi. Pemodelan dimulai dari tube ventilator sampai ke kondensor hingga aliran menabrak deflector. Kecepatan awal telah diketahui dari data PT.TJB Power Service Jepara Jawa Tengah. Temperatur di dalam tube diasumsikan sama disetiap panjang tube sehingga dapat menggunakan data CCR dari PT. TJB Power Service Jepara Jawa Tengah. Rincian dimensi tercantum pada Tabel 3.1. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *steam through ventilator tube deflected by steam deflector at condenser*.

Gambar 3.3. Geometri Mesh *steam deflector***Tabel 3.1** Geometri *steam deflector condenser*

No	Dimensi	Nilai
1	Diameter tube inlet	6"
2	Panjang steam deflector	12"
3	Lebar steam deflector	12"
4	Tebal steam deflector	1"
5	Sudut steam deflector	45 ⁰

2. Pembuatan meshing

Pembuatan *meshing* dilakukan berdasarkan dari geometri kontrol volume dimana ada aliran fluida didalamnya. *Mesh* yang digunakan adalah jenis *Hexahedron-pave*. Fenomena dan karakteristik aliran yang akan dianalisa adalah aliran pada *control volume* yang melewati *deflector* dari *ventilator tube*. *Meshing* untuk pemodelan 3D dari *supeheater* ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



(a)

(b)

Gambar 3.4 (a) bentuk meshing inlet, (b) bentuk meshing outflow

3. Penentuan *Boundary Condition* yang Digunakan

Setelah pembuatan geometri dan proses *meshing*, dilakukan proses penentuan *boundary conditions*. Kondisi batas yang

ditentukan untuk permodelan diinformasikan pada Tabel 3.2. Setelah dilakukan proses penentuan *conditions*, geometri model disimpan dan diekspor dalam bentuk *file* (*.msh) agar dapat dibaca oleh perangkat lunak FLUENT.

Tabel 3.2 *Boundary Condition Steam Deflector*

No.	Boundary Condition	Keterangan
1.	Inlet	Type : Velocity Inlet Kecepatan : 1374.25 m/s Temperatur : 425 K
2.	Outflow	Type : Outflow
3.	Tube	Type : Stationary Wall Temperatur : 655.15 K
4.	deflector	Type : Stationary Wall Temperatur : Coupled

3.3.2 Processing

Proses selanjutnya dari CFD adalah *processing*, proses ini dilakukan menggunakan *software* FLUENT 6.3.26. Tahapan pemodelan yang dilakukan dalam proses ini antara lain adalah mengatur *solver model*, *viscous model*, *materials*, *boundary conditions*, serta *initialize conditions*. Setelah seluruh pemodelan ditentukan, dilakukan proses iterasi untuk menyelesaikan proses simulasi. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai langkah-langkah dalam *processing* :

1. Solver Model

Pada simulasi tugas akhir digunakan penyelesaian 3 dimensi (3D) *double precission* dengan keakuratan ganda untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam menyelesaikan masalah. Untuk *solver* yang digunakan yaitu *pressured based* yang merupakan *solver* berbasis tekanan dengan mengkondisikan waktu *steady*. Persamaan energi diaktifkan guna mendukung penyelesaian *heat-transfer* maupun efek kompresibilitas aliran terhadap perubahan tekanan dan temperatur. *Turbulence modelling* yang digunakan adalah k-e RNG (*Renormalization Group*) karena model ini mendukung efek turbulensi dan model diferensial viskositas untuk menghitung efek bilangan Reynold yang rendah serta model ini telah digunakan dalam dunia industri. Untuk mendukung

keakuratan hasil iterasi pada daerah di dekat dinding. Diaktifkan menu *enhanced wall treatment* dengan memilih opsi *pressure gradient effect* dan *thermal effect*.

2. Material

Material yang digunakan dalam proses simulasi ini ada dua yaitu fluida kerja yang mengalir melewati *tube* dan material *tube*. Fluida kerja yang mengalir melewati *tube* dimodelkan sebagai uap air dengan temperatur 735.15 K dan material *tube* adalah *carbon steels ASTM A 213*.

3. Operating Conditions

Operating conditions digunakan untuk mengatur tekanan di dalam sistem yang disimulasikan. Dalam simulasi ini, tekanan operasional diatur pada tekanan 101.325 Pa (absolut). Gravitasi diatur 9.81 m/s².

4. Boundary Conditions

Informasi variabel yang akan disimulasikan dimasukkan sebagai parameter nilai untuk setiap *boundary conditions*. Simulasi ini menggunakan kondisi batas pada Tabel 3.2.

5. Control and Monitoring Solution

Solution control yang digunakan untuk metode *pressure-velocity coupling* adalah SIMPLE dengan diskritasi *second order upwind* untuk seluruh parameter. Pada *monitoring solution* dilakukan pengaturan kriteria residual untuk seluruh parameter sebesar 10⁻⁵, kecuali energi sebesar 10⁻⁶.

6. Initialize Condition

Initialize merupakan nilai awal untuk setiap parameter sebelum dilakukan proses iterasi pada simulasi. Metode inisialisasi yang dilakukan adalah *standard initialize* untuk mendapatkan nilai parameter awal berdasarkan *boundary conditions* pada sisi *inlet* udara.

7. Iterations

Setelah seluruh pengaturan dilakukan, proses simulasi dimulai dengan melakukan iterasi sejumlah 6000 iterasi hingga mencapai kriteria konvergensi. Kriteria konvergensi ditentukan berdasarkan *residual monitoring level* yang telah diatur sebelumnya.

3.3.3 Post-Processing

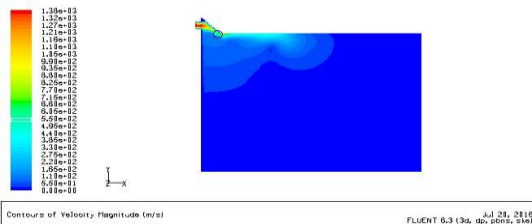
Dari hasil simulasi diperoleh data perpindahan panas visualisasi distribusi kecepatan yang melewati *steam deflector*. Yang selanjutnya diolah dengan perangkat lunak Fluent 6.0 dan akan disajikan dalam bentuk grafik.

3.4 Pengolahan Data

Setelah dilakukan proses simulasi mulai dari tahap *pre-processing*, *processing*, hingga *post-processing* menggunakan *software* GAMBIT 2.4.6 dan FLUENT 6.3.26, maka diperoleh data kuantitatif. Data tersebut kemudian disimpan ke dalam bentuk *excel workbook* dan selanjutnya diolah secara matematis menggunakan rumus seperti yang sudah dipaparkan dalam Bab 2. Adapun tahapan pengolahan data yang dilakukan adalah *grid independency* dan validasi. *Grid independency* dilakukan untuk memastikan *grid* yang telah independen terhadap kasus yang akan disimulasikan. Pada independensi *grid* ini, dilakukan pembagian jumlah *meshing* ke dalam 4 jenis.

3.5 Hasil dari Pemodelan Awal

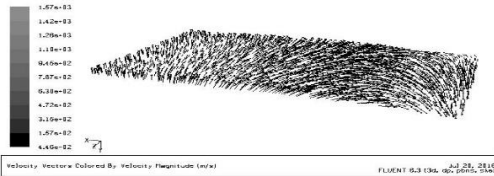
Dari domain komputasi diatas setelah dilakukan proses simulasi pada *software* FLUENT 6.3.26 diperoleh vector kecepatan aliran steam. Jika ditinjau pada $z = 0$ (bidang x,y) dengan masukan kecepatan awal adalah 1374.25 m/s dengan suhu 500K yang nantinya akan menabrak penahan steam dan terdistribusi pada seluruh domain. Adapun hasil komputasi untuk vektor kecepatan adalah sebagai berikut,



Gambar 3.5. Kontur kecepatan aliran steam pada $z = 0$ (bidang x,y)

Gambar 4.3 di atas menunjukkan bahwa steam menabrak steam deflector pada kisaran kecepatan sebesar kecepatan masukan. Aliran kemudian terarah ke depan mengikuti sudut kemiringan penahan dengan kecepatan yang menurun yaitu pada kisaran 550 m/s. Hal ini disebabkan tumbukan yang mana sebagian besar momentum menjadi tekanan total ketika menabrak steam deflector. Adapun sebagian steam dipancarkan ke bawah dan kemudian akan mengenai tube dengan kecepatan yang sudah jauh menurun sebagai berikut.

3.5.1 Vektor kecepatan pada plane searah *tube* dengan $x = 0,852$ m (bidang y,z)

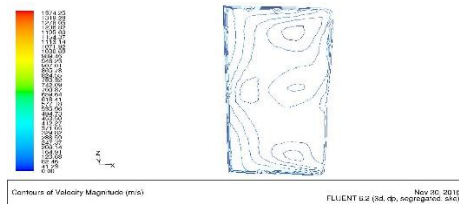


Gambar 3.6. Vektor kecepatan pada plane searah *tube* dengan $x = 0,852$ m (bidang y,z)

Dari gambar di atas terlihat bahwa steam yang juga langsung terpancar ke bawah dengan kecepatan yang sudah menurun, yaitu pada kisaran 550 m/s. Kecepatan tersebut makin menurun seiring dengan Bergeraknya steam ke bawah. Pada kasus ini, yang mengenai *tube* kondenser berada pada kisaran 130 m/s.

3.5.2 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube* paling atas, pada $y = -1,7$ m (bidang xz)

Hasil tersebut juga konsisten dengan hasil kontur kecepatan pada area yang mengenai *tube*, sebagai berikut,

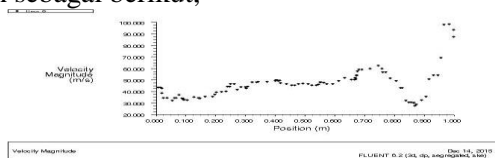


Gambar 3.7. Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube paling atas*, pada $y = -1,7$ m (bidang xz)

Distribusi kecepatan pada pada bidang ini berada pada kisaran 20 – 160 m/s dimana yang tertinggi adalah berada pada daerah yang tepat di bawah tumbukan steam dengan penahan. Hal ini konsisten jika dibandingkan dengan gambar-gambar visualisasi mengenai kerusakan tube yang juga berada pada daerah tersebut.

3.5.3 Variasi Kecepatan Pada Sumbu x Untuk $y = -1,7$ m, dan $z = 0$ m

Adapun distribusi kecepatan pada arah x menunjukkan bahwa kecepatan cenderung lebih tinggi pada bagian belakang (arah x) dari penahan sebagai berikut,



Gambar 3.8. Grafik variasi kecepatan pada sumbu x untuk $y = -1,7$ m, dan $z = 0$ m

Dari simulasi dapat disimpulkan bahwa rata-rata kecepatan yang menumbuk *tube* adalah 135 m/s. Namun kecepatan tinggi yang mengenai permukaan pipa adalah 130 – 140 m/s pada daerah $0,8 < x < 1,0$. Pada posisi $1,25 < x < 1,75$ terjadi peningkatan kecepatan karena posisi outlet tegak lurus dengan daerah itu, namun dengan vector kecepatan mengarah keatas sebelum seluruh steam terdistribusi merata melalui pipa dengan $X_{maksimal}$ adalah 3 meter.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

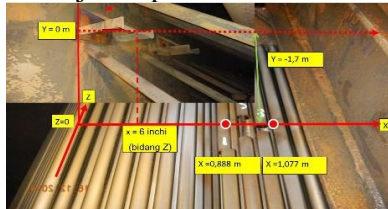
Pada Bab IV ini akan dihitung berapa kecepatan uap saat mengenai permukaan pipa dan bagaimana distribusinya. Perhitungan ini tidak dapat diselesaikan secara analitikal biasa, namun harus menggunakan bantuan software yaitu *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Secara umum CFD adalah salah satu cara untuk menyelesaikan persamaan-persamaan dalam transport phenomena dengan menggunakan metode numerik. Meskipun demikian CFD mempunyai kekhususan-kekhususan sendiri dalam bidang metode numerik. CFD juga mencakup formulasi-formulasi *ad hoc* dalam mendeskripsikan aliran, terutama yang berhubungan dengan *turbulent convection*. Secara fisis, aliran turbulen mempunyai skala-skala tertentu yang harus digambarkan oleh persamaan-persamaan fluida. Penyelesaian persamaan ini memerlukan harga komputasi yang sangat besar sehingga diperlukan strategi memutar dengan menggunakan model *ad hoc* dalam *turbulence modelling*. Dengan demikian, peran CFD dalam peta desain dan *troubleshooting equipment* adalah untuk mengevaluasi dan melengkapi detail-detail fenomena fisis, terutama yang terkait langsung dengan geometri. Dalam evaluasi kerusakan *condenser*, variabel dan parameter penting seperti sebaran kecepatan, suhu, ukuran dan bentuk geometri merupakan hal yang perlu diteliti sehingga kita dapat mengetahui mengapa pipa kondensor tersebut menjadi bocor setelah terkena pancaran tumbukan uap dari pipa TVV.

4.1 Sumbu Referensi

Distribusi kecepatan uap ke arah bawah setelah menabrak steam deflector akan dihitung dalam arah 3 dimensi (3D). Untuk memudahkan pendiskripsian distribusi kecepatan dipilih sumbu referensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Koordinat (0,0,0) dipilih merupakan perpotongan garis lurus (sumbu Y) yang

ditarik kebawah dari pojok ujung sisi kiri deflector yang menempel pada bagian dinding sampai ke permukaan tumpukan pipa. Sumbu X adalah arah melintang terhadap tumpukan pipa kondensor. Sedangkan sumbu Z adalah searah dengan panjang pipa kondensor. Sistem koordinat ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sistem koordinat

Steam deflector berbentuk empat persegi panjang dengan panjang sisinya adalah 12 in menempel pada dinding kondensor dengan sudut 45° kearah bawah. $Z = 6$ in berada pada sumbu bidang miring deflector. Permukaan tumpukan pipa kondensor paling atas berada pada jarak ketinggian $Y = -1,7$ m dari ujung sisi bawah deflector. Lokasi pipa bocor berada pada jarak x antara 0,888 s/d 1,077 m, $Y = 1,7$ m dari ujung sisi bawah deflector, dan $Z = 6$ in = 0,15 m dari sisi pojok kiri deflector. Pada daerah ini akan dianalisa bagaimana bentuk distribusi kecepatannya dalam arah x , y , dan z .

4.2. Analisa kebocoran tube

Pada bab ini akan dikaji tentang kemungkinan terjadinya kerusakan pipa condenser akibat air yang memancar dengan kecepatan tinggi berasal dari steam deflector. Metode yang digunakan adalah analitis dan pemodelan numerik. Pada kajian ini pancaran air diwakili oleh sebuah butiran yang dianggap benda pejal. Untuk mengetahui jumlah tumbukan butiran air yang mengenai pipa condenser maka dilakukan perhitungan analitis tentang perlambatan butiran air dari deflector hingga mengenai pipa condenser.

4.2.1. Data material pipa

Data Material pipa condenser yang diperoleh adalah data statis berupa ultimate strength 345 MPa, yield strength 275 MPa. Dengan bantuan internet didapat data lebih lengkap termasuk fatigue strength seperti pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1. Spesifikasi material pipa Titanium.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	4.51 g/cc	0.163 lb/in ³	
Mechanical Properties			
Hardness, Knoop	170	170	
Hardness, Rockwell B	80	80	
Hardness, Vickers	145	145	
Tensile Strength, Ultimate	244 MPa	49000 psi	
Tensile Strength, Yield	275 - 410 MPa	39600 - 59000 psi	
Elongation at Break	20 %	20 %	
Reduction of Area	35 %	35 %	
Modulus of Elasticity	105 GPa	15200 ksi	In Tension
Compressive Modulus	110 GPa	16000 ksi	
Poisson's Ratio	0.37	0.37	
Impact	114 - 171 J	84.1 - 126 ft-lb	
Fatigue Strength	200 MPa	43000 psi	1E+7 cycles, Unnotched
Fatigue Strength	85 MPa	6800 psi	30,000 cycles, Unnotched
Fracture Toughness	66 MPa.m ^{1/2}	60.1 ksi-in ^{1/2}	K(Ic), annealed
Shear Modulus	45 GPa	6530 ksi	
Electrical Properties			
Electrical Resistivity	5.2e-005 ohm-cm	5.2e-005 ohm-cm	

4.2.2. Data Operasional

Data operasional di bawah ini diperoleh dari kajian distribusi kecepatan pada bab IV dan data lapangan. Kecepatan butiran air setelah mengenai deflector sebesar $V_o = 550.184 \text{ m/s}$, sedangkan kecepatan saat mengenai pipa condenser adalah $V = 130 \text{ m/s}$. Adapun data lapangan yang diperlukan untuk kajian adalah waktu terjadi kerusakan T_x yaitu *15 jam 46 menit* (56814 s).

4.2.3. Perhitungan Perlambatan, Waktu Tumbukan dan Jumlah Tumbukan

Perlambatan (a) dapat dihitung dari perumusan berikut :

$$V^2 = V_o^2 + 2aS$$

Sehingga didapat

$$a = \frac{V^2 - V_o^2}{2S} \quad (4.1)$$

Sedangkan waktu yang dibutuhkan (t) butiran air dari deflector hingga menumbuk pipa condenser didapat dari perumusan berikut :

$$S = V_o t + \frac{1}{2} a t^2$$

Sehingga waktu t didapat dari akar persamaan :

$$\frac{1}{2}at^2 + V_0t - S = 0 \quad (4.2)$$

Jumlah tumbukan (N_x) diperoleh dari waktu yang saat terjadinya kerusakan (T_x) dibagi dengan waktu untuk terjadinya tumbukan (t) yang dirumuskan

$$N_x = \frac{T_x}{t} \quad (4.3)$$

- Perhitungan waktu tumbukan pada kecepatan butiran air 130 m/s

$$a = \frac{V^2 - V_0^2}{2S}$$

$$a = \frac{(130 \text{ m/s})^2 - (550.184 \text{ m/s})^2}{2 \times 1.7 \text{ m}}$$

$$a = -84059.5 \text{ m/s}$$

Sehingga

$$\frac{1}{2}at^2 + V_0t - S = 0$$

$$\frac{1}{2}(-84059.5)t^2 + (550.184)t - 1.7 = 0$$

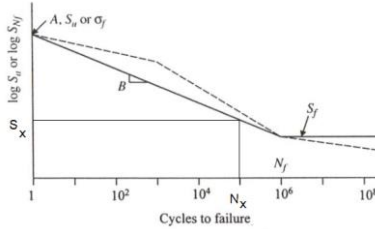
Diperoleh $t_1 = 0.00499$ dan $t_2 = 0.00809$, digunakan yang t kecil agar didapatkan jumlah tumbukan yang besar.

Untuk waktu kerusakan 15 jam 46 menit, jumlah tumbukan yang terjadi :

$$N_x = \frac{T_x}{t} = \frac{56814}{0.00499} = 1.138 \times 10^7 \text{ cycles}$$

4.2.4. Fatigue

Fatigue adalah kerusakan yang terjadi akibat beban yang berulang-ulang. Fatigue digambarkan dalam kurva S-N dimana sumbu absis menyatakan jumlah dalam cycles dan sumbu ordinat menyatakan tegangan yang terjadi, seperti gambar berikut :



Gambar 4.2. Kurva S-N untuk material baja secara umum

Pada jumlah Cycles 1 (statis) batas kerusakan ditandai oleh ultimate strength (S_u). Artinya apabila tegangan yang terjadi dibawah S_u maka kondisi material yang digunakan aman, sebaliknya apabila tegangan yang terjadi di atas S_u maka kondisi material yang digunakan terjadi kerusakan. Pada jumlah cycles 10^6 (untuk material baja), batasan kerusakan ditandai oleh fatigue strength (S_f). Titik S_u dihubungkan dengan S_f oleh garis lurus dengan kemiringan B. Artinya bahwa apabila tegangan yang terjadi ditarik garis hingga mengenai kemiringan B maka dapat ditarik garis kebawah mengenai sumbu absis untuk dapat mengetahui berapa umur yang bisa dicapai material tersebut. Perhitungan B dirumuskan sebagai berikut :

$$B = \frac{-\log S_u - \log S_f}{\log N_f}$$

Sedangkan perhitungan tegangan yang terjadi didapat dari rumus umur :

$$N_x = N_f \left(\frac{S_x}{S_f} \right)^{-1/B}$$

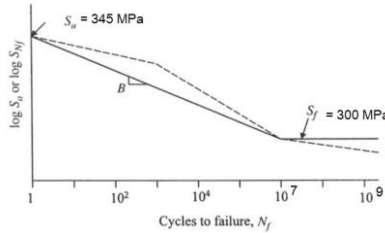
Sehingga diperoleh

$$S_x = S_f \left(\frac{N_x}{N_f} \right)^{-B}$$

Setelah titik S_f ditarik garis sejajar dengan sumbu absis yang berarti apabila tegangan yang terjadi di bawah S_f maka umur material menjadi tak terhingga. Untuk material lain bentuk kurva S-N seperti pada garis putus-putus, dimana terdapat lebih dari satu

kemiringan dan setelah S_f tidak asistotis sehingga tidak ada umur material yang tak terhingga.

Untuk material Titanium maka kurva S-N digambarkan sebagai berikut



Gambar 4.3. Kurva S-N untuk Titanium

Sehingga didapat

$$B = \frac{-\log S_u - \log S_f}{\log N_f}$$

$$B = \frac{-\log 345 - \log 300}{\log 10^7}$$

$$B = -0.71$$

Waktu kerusakan 15 jam 46 menit (56814 s), pada kecepatan 130 m/s, menghasilkan tegangan

$$S_x = S_f \left(\frac{N_x}{N_f} \right)^{-B}$$

$$S_x = 300 \left(\frac{1.138 \times 10^7}{10^7} \right)^{0.71}$$

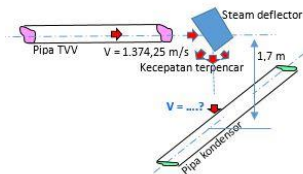
$$S_x = 328.83 \text{ MPa}$$

Untuk $S_x = 328.83 \text{ MPa}$, pada 1.138×10^7 cycles jika S_x ditarik garis tegak lurus maka akan berpotongan diatas garis S_f . Maka pipa kondensor akan pecah karena tegangan yang dihasilkan.

4.3 Posisi Pipa TVV Terhadap Pipa Kondensor

Pada Bab III telah dihitung bahwa laju kecepatan uap air pada arah horizontal (sejajar arah sumbu pipa TVV masuk kondensor)

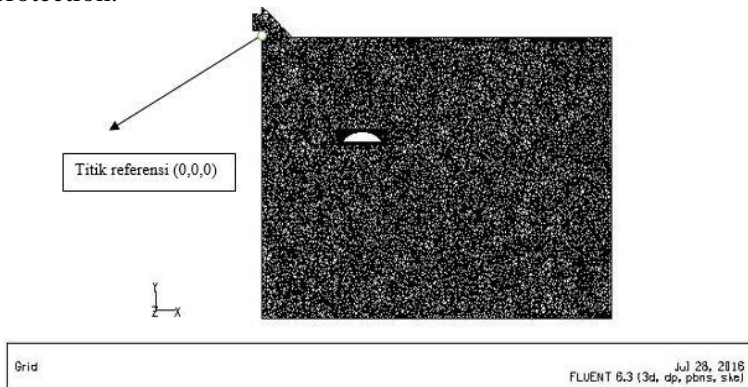
adalah $V = 1.374,25 \text{ m/s}$ dan dengan laju aliran massa $\dot{m} = 6,8 \text{ ton/jam}$. Laju kecepatan uap tersebut menabrak steam deflector untuk didefleksikan kebawah menuju tumpukan (bundle) pipa kondensor. Jarak kebawah antara steam deflektor dengan tumpukan pipa pada barisan paling atas adalah 1,7 m. Sudah barang tentu bahwa kecepatan uap saat mengenai permukaan pipa sudah tidak lagi $1.374,25 \text{ m/s}$ namun sudah berkurang dengan arah kebawah yang berpecah sebagai akibat percikan dari hasil tabrakan antara uap dengan steam deflektor. Gambar 4.2 menunjukan skema posisi pipa TVV terhadap pipa kondensor.



Gambar 4.4 Posisi pipa TVV terhadap pipa kondensor

4.4. Analisa kontur, vector dan variasi kecepatan steam setelah dipasang sheet protection dengan variasi posisi di $y = 1 \text{ m}$, $y = 1.2 \text{ m}$, dan $y = 1.5 \text{ m}$.

Berikut ini adalah bentuk dari grid setelah dipasang sheet protection.

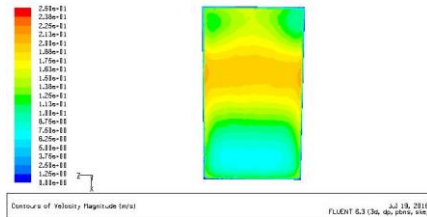


Gambar 4.5 grid pemodelan setelah dipasang sheet protection

4.4.1. Variasi peletakan sheet protection pada $y = 1$ m.

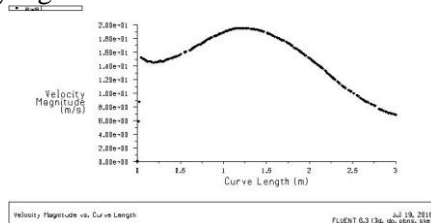
4.4.1.1 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube paling atas*, pada $y = -1,7$ m (bidang xz) dilihat dari 3 titik pengamatan.

Berikut ini adalah kontur kecepatan steam setelah menabrak sheet protection berbentuk setengah lingkaran.



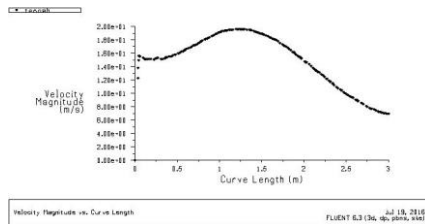
Gambar 4.6. Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube paling atas*, pada $y = -1,7$ m (bidang xz)

Dari gambar diatas tampak distribusi kecepatan berada pada kisaran 0 – 25 m/s dimana kecepatan tertinggi berada tepat setelah sheet protection dengan distribusi kecepatan yang akan diamati dari 3 posisi z yang berbeda.



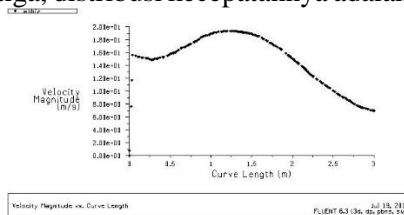
Gambar 4.7. Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ di $z = 0$ m.

Dari gambar diatas didapatkan bahwa kecepatan steam setelah menabrak sheet protection berada pada kisaran 6 – 20 m/s. Pada daerah $0.8 < x < 1.0$ m distribusi kecepatan paling tinggi adalah 18 m/s. Pada titik pengamatan kedua, distribusi kecepatannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.8. Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ di $z = 0.15$ m.

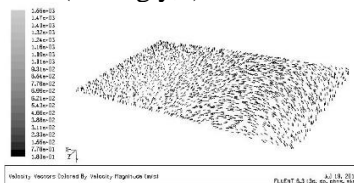
Dari titik pengamatan kedua yaitu pada jarak $z = 0.15$ m distribusi kecepatan steam setelah menabrak sheet protection mengalami kenaikan pada posisi $x = 1$ m yaitu sekitar 19 m/s. Dan untuk titik pengamatan ketiga, distribusi kecepatannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9. Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ di $z = 0.3$ m

Dari titik pengamatan ketiga yaitu pada $z = 0.3$ m distribusi kecepatan memiliki karakteristik yang hampir identik dengan titik pengamatan kedua yaitu pada $z = 0.15$ m.

4.4.1.2 Vektor kecepatan pada plane searah tube dengan $x = 0.852$ m (bidang y,z)



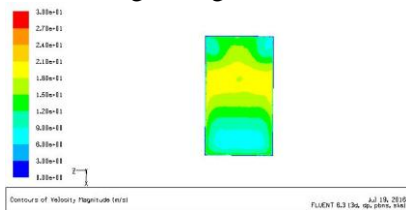
Gambar 4.10. Vektor kecepatan pada plane searah *tube* dengan $x = 0,852$ m (bidang y,z)

Dari gambar diatas terlihat arah vektor kecepatan steam pada permukaan tube paling atas setelah menabrak sheet protection yang diposisikan pada $y = -1.7$ m dari titik acuan awal. Arah vektor setelah menabrak cenderung naik dan kemudian turun lagi dikarenakan adanya steam yang tidak menabrak sheet dan akhirnya aliran steam keluar melalui output.

4.4.2 Variasi peletakan sheet protection pada $y = 1.2$ m.

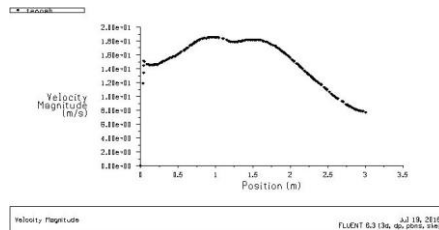
4.4.2.1 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube paling atas, pada* $y = -1,7$ m(bidang xz) dilihat dari 3 titik pengamatan.

Berikut ini adalah kontur kecepatan steam setelah menabrak sheet protection berbentuk setengah lingkaran.



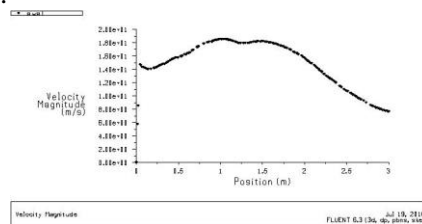
Gambar 4.11. Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube paling atas, pada* $y = -1,7$ m (bidang xz)

Dari gambar diatas tampak distribusi kecepatan berada pada kisaran 0 – 27 m/s dimana kecepatan tertinggi berada tepat setelah sheet protection dengan distribusi kecepatan yang akan diamati dari 3 posisi z yang berbeda. Namun berbeda dengan posisi peletakan sheet protection pada $y = -1$ m, persebaran kecepatan lebih pendek. Variasi kecepatan yang diamati dari ketiga titik adalah sebagai berikut:



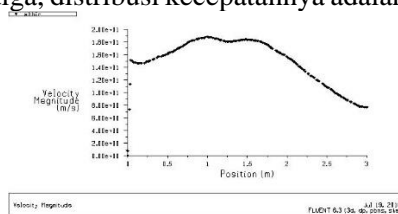
Gambar 4.12. Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ di $z = 0$ m.

Dari gambar diatas didapatkan bahwa kecepatan steam setelah menabrak sheet protection berada pada kisaran 6 – 19 m/s. Pada daerah $0.8 < x < 1.0$ m distribusi kecepatan paling tinggi adalah 18 m/s. Pada titik pengamatan kedua, distribusi kecepatannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4.13. Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ di $z = 0.15$ m

Dari titik pengamatan kedua yaitu pada jarak $z = 0.15$ m distribusi kecepatan steam setelah menabrak sheet protection mengalami penurunan pada posisi $x = 1$ m yaitu sekitar 18 m/s. Dan untuk titik pengamatan ketiga, distribusinya adalah sebagai berikut:

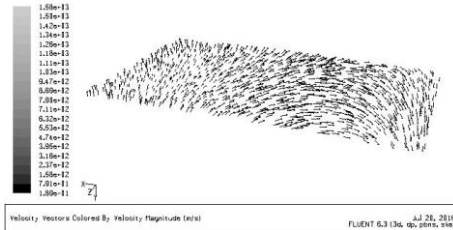


Gambar 4.14. Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ di $z = 0.3$ m

Dari gambar distribusi kecepatan pada titik pengamatan ketiga diatas nampak terjadi kenaikan kecepatan steam pada $x = 1$ m

menjadi 19 m/s. Karena pemasangan sheet protection paling dekat dengan tube kondensor kecepatan setelahnya menjadi sangat kecil dibandingkan dengan tanpa adanya sheet protection.

4.4.2.2 Vektor kecepatan pada plane searah tube dengan $x = 0.852\text{m}$ (bidang y,z)



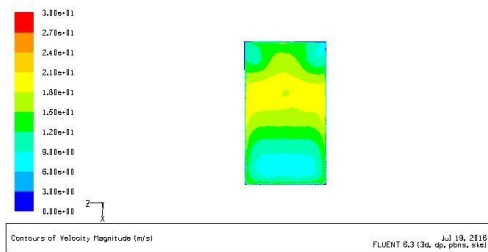
Gambar 4.15. Vektor kecepatan pada plane searah *tube* dengan $x = 0,852\text{ m}$ (bidang y,z)

Vektor kecepatan aliran uap seperti pada gambar diatas menunjukkan bahwa setelah menabrak sheet protection arah vektornya menjadi keatas kemudian turun lagi dan akhirnya aliran uap keluar melewati outlet, berbeda dengan pada peletakan sheet protection di $y = -1\text{ m}$, daerah persebaran vektor lebih padat dan sempit.

4.4.3 Variasi peletakan sheet protection pada $y = 1.5\text{ m}$.

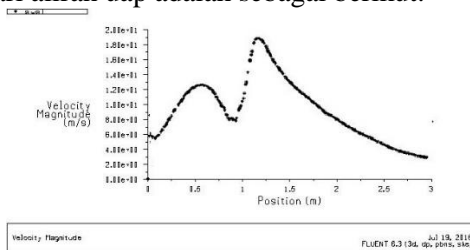
4.4.3.1 Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube* paling atas, pada $y = -1,7\text{ m}$ (bidang xz) dilihat dari 3 titik pengamatan.

Berikut ini adalah kontur kecepatan steam setelah menabrak sheet protection berbentuk setengah lingkaran. Peletakan sheet protection pada kasus ini adalah paling dekat dengan barisan tube kondensor paling atas, sehingga konturnya seperti berikut:



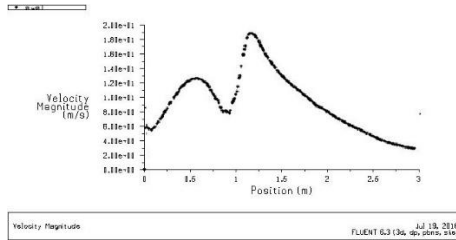
Gambar 4.16. Kontur kecepatan pada permukaan tumpukan *tube paling atas*, pada $y = -1,7$ m (bidang xz)

Kontur kecepatan aliran uap diatas hampir sama dengan peletakan sheet protection di $y = -1.2$ m namun persebaran kecepatan uapnya lebih padat dan sempit untuk daerah yang terkena efek dari peletakan sheet protection. Untuk distribusi kecepatan dari aliran uap adalah sebagai berikut:



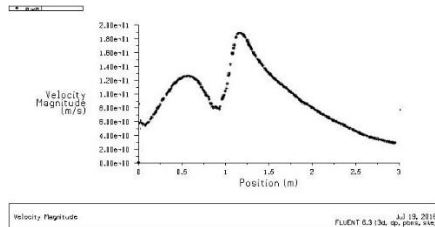
Gambar 4.17. Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ di $z = 0$ m.

Distribusi kecepatan aliran uap setelah dihalangi oleh sheet protection pada $y = -1.5$ m memiliki kecepatan tertinggi pada $x = 1.1$ m dengan kecepatan 19 m/s. dan untuk daerah $0.8 < x < 1$ distribusi kecepatan aliran uap berada pada kisaran 16 – 18 m/s. Untuk distribusi kecepatan aliran uap pada pengamatan kedua adalah sebagai berikut:



Gambar 4.18. Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ di $z = 0.15\text{m}$

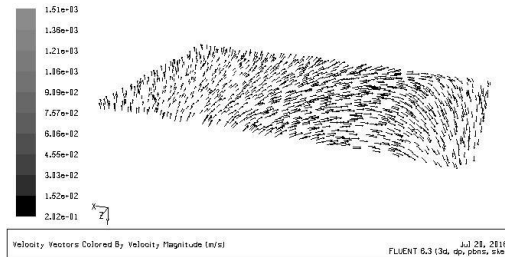
Dari gambar distribusi kecepatan aliran uap diatas menunjukkan adanya peningkatan kecepatan aliran uap di $x = 1\text{ m}$ yaitu 18.5 m/s . Sedangkan untuk pengamatan pada titik ketiga adalah sebagai berikut:



Gambar 4.19. Distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada $y = -1.7$ di $z = 0.3\text{m}$

Gambar distribusi kecepatan aliran uap diatas menunjukkan kenaikan kecepatan pada $x = 1\text{ m}$ menjadi 19 m/s . Sehingga dari ketiga titik pengamatan diatas, semakin nilai z diperbesar maka distribusi kecepatan aliran uapnya naik, dikarenakan karena semakin dekatnya peletakan sheet protection dengan sheet protection aliran balik setelah menabrak semakin lebih sering.

4.4.3.2 Vektor kecepatan pada plane searah tube dengan $x = 0.852\text{m}$ (bidang y,z)



Gambar 4.20. Vektor kecepatan pada plane searah *tube* dengan $x = 0,852\text{ m}$ (bidang y,z)

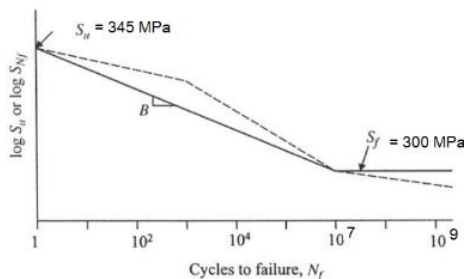
Vektor arah aliran uap diatas menunjukkan padatnya aliran uap yang naik setelah menabrak sheet protection dan akhirnya keluar melewati outlet. Hal itulah yang menyebabkan terjadinya kenaikan kecepatan aliran uap ke arah z yang semakin besar.

4.5 Analisa Kekuatan Tube Kondensor setelah dipasang sheet protection

Tabel 4.2 tabel perhitungan tegangan dan cycle.

kondisi	vo(m/s)	v(m/s)	a(m/s ²)	1/2 a(m/s ²)	t1(s)	t2(s)	Tx(s)	Nx(cycles)	Sx(Mpa)
no sheet	550.184	130	-84059.53937	-42029.77	0.0049	0.0081	56814	1.11E+07	328.83
sheeted y	550.184	20	-88912.48055	-44456.24	0.00596	0.0064	56814	9.5325503E+06	289.974
sheeted y	550.184	19	-88923.95113	-44461.98	0.00597	0.0064	56814	9.5165829E+06	289.6295
sheeted y	550.184	18.5	-88929.46584	-44464.73	0.005978	0.0064	56814	9.5038474E+06	289.4

Dari tabel diatas didapatkan tegangan dan siklus sebelum dan sesudah dipasang sheet protection. Kemudian dari data di tabel diplotkan ke kurva S-N dari titanium.



Gambar 4.21. plot data tabel terhadap kurva N-S.

Dari kurva diatas, ternyata setelah kondensor tube dipasang sheet protection tegangan yang terjadi menurun dari 328.83 MPa menjadi 289.4MPa(terkecil). Untuk itu, pemasangan sheet protection mampu menahan laju aliran uap agar tidak merusak tube kondensor.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Penambahan sheet protection pada kondensor dapat mengurangi kecepatan aliran uap dari TVV.
2. Pemasangan sheet protection paling optimum terdapat pada $y = -1.5\text{m}$ dari sumbu referensi
3. Penambahan sheet protection pada kondensor dapat mengurangi tegangan yang diterima oleh pipa kondensor dari 328 MPa menjadi 289.4 MPa (terkecil).
4. Penambahan sheet protection mampu mencegah terjadinya kebocoran pada pipa kondensor.

5.2 SARAN

Berikut ini adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Melakukan penelitian dengan menggunakan variasi bentuk sheet protection.
2. Melakukan penelitian dengan memvariasikan tipe pengurang kecepatan seperti diffuser atau yang lain.
3. Melakukan penelitian dengan melihat dari kekuatan material berdasarkan aspek yang lain seperti menggunakan metode elemen hingga atau lainnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Fox, Robert W., Pritchard, P.J. dan McDonald, Alan T. 2010. *Introduction to Fluid Mechanics* (7th Edition). Asia: John Wiley & Sons.
- Incropera, Frank P., De Witt, David P. 2002. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Kitto, J.B. dan S.C. Stultz. 2005. *Steam Its Generation an Use*. Amerika: The Babcock & Wilcox Company.
- Moran, Michael J. dan Shapiro, H.N. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (5th Edition). Inggris: John Wiley & Sons.
- Sinha, Ashwini K. 2010. *Aspects of Failure of Condenser tubes and their Remedial Measures at Powerplants* India: NETRA.
- Foster Wheeler Limited.1998. **Design, Operation, and Maintenance Manual for Twin Shell Single Pressure Surface Condenser**. Kanada: Toshiba International Corporation.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Ngawi, 14 Desember 1990, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Karangjati, SD Negeri 1 Karangjati, SMP Negeri 1 Karangjati, SMA Negeri 3 Madiun. Penulis mengikuti SNMPTN tulis dan diterima di jurusan Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2009.

Di jurusan Teknik Mesin ini, penulis mengambil bidang studi Konversi Energi, Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa. Penulis pernah mengikuti organisasi UKM billiard ITS sebagai kepala divisi pelatihan dan Mesin Music Club sebagai kepala divisi HRD dan kepala divisi PnP ditahun berikutnya. Untuk semua informasi dan masukan dapat menghubungi penulis melalui email dheisa.orizanto90@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)